

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA EKONOMICKÁ FAKULTA

KATEDRA FINANCÍ

Ocenění projektu s více rizikovými faktory aplikací metodologie reálných
opcí

Project Valuation with Multiple Sources of Risk by Applying Real
Options Methodology

Student: Bc. Vít Ošťádal

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Čulík, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Ekonomická fakulta
Katedra financí

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Vít Ošťádal

Studijní program:

N6202 Hospodářská politika a správa

Studijní obor:

6202T010 Finance

Téma:

Ocenění projektu s více rizikovými faktory aplikací metodologie
reálných opcí

Project Valuation with Multiple Sources of Risk by Applying Real
Options Methodology

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
 2. Popis metodologie reálných opcí
 3. Popis oceňovaného projektu
 4. Ocenění projektu a zhodnocení výsledků
 5. Závěr
- Seznam použité literatury
Seznam zkratk
Prohlášení o využití výsledků diplomové práce
Seznam příloh
Přílohy

Seznam doporučené odborné literatury:

LEGRAND, Jason and Louis T. VERHEYEN. *Real options analysis*. New York: Nova Science Publishers, 2012. ISBN 978-1-61324-330-5.
MUN, Johnathan. *Real options analysis: tools and techniques for valuing strategic investments and decisions with integrated risk management and advanced quantitative decision analytics*. 3rd ed. Dexter: Thomson Shore, 2016. ISBN 978-1-5300-7511-9.
REUER, Jeffrey and Tony W. TONG. *Real options theory*. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7623-1427-0.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Miroslav Čulík, Ph.D.**

Datum zadání: 23.11.2018

Datum odevzdání: 26.04.2019





Ing. Iveta Ratmanová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Dr. Ing. Zdeněk Zmeškal
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem celou práci vypracoval samostatně, včetně všech příloh.“

V Ostravě dne 23.4.2019


.....
Bc. Vít Ošťádal

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Miroslavu Čulíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady, kterými významně přispěl k vypracování této práce.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Popis metodologie reálných opcí.....	6
2.1	<i>Metodologie opcí.....</i>	<i>6</i>
2.1.1	Faktory ovlivňující cenu opce.....	7
2.1.2	Zisk, vnitřní a časová hodnota opcí.....	8
2.2	<i>Reálné opce</i>	<i>8</i>
2.2.1	Faktory ovlivňující cenu reálných opcí.....	9
2.2.2	Druhy reálných opcí.....	10
2.3	<i>Modely oceňování opcí.....</i>	<i>13</i>
2.3.1	Binomický model.....	13
2.3.2	Binomický model pro dvě náhodné proměnné	19
2.3.3	Black-Scholesův model.....	20
3	Popis oceňovaného projektu	22
4	Ocenění projektu a zhodnocení výsledků	23
4.1	<i>Predikce náhodných proměnných.....</i>	<i>23</i>
4.2	<i>Výpočet rizikově neutrální pravděpodobnosti</i>	<i>24</i>
4.3	<i>Výpočet FCF a oceňování projektu bez flexibility.....</i>	<i>25</i>
	Varianta bez korelace	26
	Varianta s korelací	27
4.4	<i>Ocenění projektu a flexibility s opcí na opuštění projektu</i>	<i>28</i>
	Varianta bez korelace	28
	Varianta s korelací	31
4.5	<i>Ocenění projektu a flexibility s opcí na rozšíření projektu</i>	<i>32</i>
	Varianta bez korelace	32
	Varianta s korelací	35
4.6	<i>Ocenění projektu a flexibility s opcí na zúžení projektu</i>	<i>36</i>
	Varianta bez korelace	36
	Varianta s korelací	39

4.7	<i>Ocenění projektu a flexibility s portfoliem opcí,</i>	40
	Varianta bez korelace	40
	Varianta s korelací	43
4.8	<i>Srovnání hodnot flexibility a grafické znázornění</i>	44
4.9	<i>Citlivostní analýza</i>	46
5	Závěr	48
	Seznam použité literatury	50
	Seznam zkratek	51
	Prohlášení o využití výsledků diplomové práce	
	Seznam příloh	
	Přílohy	

1 Úvod

V současnosti, kdy se stále zrychluje vývoj nových technologií a vznikají nové investiční příležitosti je víc než kdy dříve důležité, aby se vedení společnosti učinilo správné rozhodnutí, kam alokovat svoje finanční prostředky. Ať už je to právě investice do nových technologií, nebo nákup efektivnějšího výrobního stroje, stále platí pravidlo, že společnost má jen omezené zdroje, které můžou být investovány. Správné ocenění investičních příležitostí a nalezení správného investičního rozhodnutí je důležitý aspekt podnikání, který je nezbytný pro fungování společnosti. Jedním ze způsobu oceňování investic je metoda oceňování na bázi reálných opcí. Při správném použití této metody, může management společnosti provádět lepší rozhodnutí při volbě investic a také za trvání investice se může flexibilněji reagovat na případný negativní nebo pozitivní vývoj na trhu.

Cílem této diplomové práce je ocenění investičního projektu, aplikací metodologie reálných opcí, za existence dvou rizikových faktorů, které ovlivňují peněžní toky projektu.

Práce je rozdělena do pěti samostatných kapitol, kde první kapitolou je úvod a pátou kapitolou je závěr. V druhé kapitole jsou popsány základní druhy finančních opcí, faktory ovlivňující ceny opcí, vnitřní hodnota, časová hodnota a zisk plynoucí z opcí. Součástí druhé kapitoly je také základní vymezení reálných opcí, druhů reálných opcí a faktorů ovlivňující cenu reálných opcí. Poslední částí této kapitoly je vymezení modelů sloužících k oceňování opcí, jejich základní rozdělení a detailní popis vybraných modelů, které jsou dále využity v praktické části diplomové práce.

Ve třetí kapitole jsou určeny vstupní parametry pro ocenění projektu, součástí je stručný popis společnosti a investičního projektu.

Čtvrtá kapitola je praktickou částí této diplomové práce a je tvořena výpočty souvisejícími s oceňováním projektu. Výpočty jsou rozděleny pro variantu s korelací náhodných proměnných a pro variantu bez korelace. Součástí čtvrté kapitoly je výpočet predikce vývoje náhodných proměnných, výpočet rizikově neutrálních pravděpodobností, výpočet peněžních toků generovaných pro jednotlivé scénáře vývoje. V další částí této kapitoly je provedeno vlastní ocenění projektu. Ocenění je nejdříve provedeno pro projekt bez opce, dále jsou jednotlivě oceněny varianty projektu s jednou opcí, nakonec je oceněn projekt s portfoliem opcí. Poslední částí čtvrté kapitoly je citlivostní analýza, kterou je zkoumána závislost flexibility na změny koeficientu korelace.

2 Popis metodologie reálných opcí

Na začátku kapitoly je vymezena základní metodologie opcí. Dále jsou zde popsány modely sloužící k oceňování opcí, druhy reálných opcí a metody jejich využití. Pro vypracování této kapitoly je využito publikací Tichý (2010), Dluhošová (2010), Čulík (2013).

2.1 Metodologie opcí

Opce obecně patří do skupiny finančních derivátů. V této skupině se dále nachází futures, forwardy a swapy. Jedná se o kategorii finančních instrumentů, u kterých je cena závislá na vývoji vybrané náhodné veličiny nebo jiného aktiva. Dle (Tichý 2010) by mělo být primárním účelem opcí řízení finančního rizika.

Opce lze chápat jako finanční instrument, který poskytuje vlastníkovvi opce právo koupit nebo prodat předem vybrané aktivum, které dále označujeme jako podkladové. Toto aktivum je při využití opce obchodováno za předem stanovenou realizační cenu, a to k určitému datu nebo v průběhu stanoveného období. Základními druhy opcí dle práv s nimi spojených jsou:

- **call opce** také označována jako kupní, dává držiteli opce právo na nákup předem stanoveného aktiva v budoucnosti,
- **put opce** také označována jako prodejní, dává držiteli opce právo na prodej předem stanoveného aktiva v budoucnosti.

Pokud se jedná o nákup opce, kupující se zaujímá tzv. dlouhou pozici. V případě prodeje zaujímá prodejce opce tzv. krátkou pozici. Opce dle okamžiku uplatnění lze rozdělit na americké, evropské a exotické. Hlavním rozdílem je okamžik uplatnění opce. Evropskou opci lze uplatnit na konci doby splatnosti. Zatímco americkou opci lze uplatnit v jakýkoliv moment doby životnosti opce, evropskou opci lze uplatnit pouze k jednomu časovému okamžiku. Exotická opce je komplikovanější opce s rozdílnými parametry. Příkladem exotické opce je bermudská opce, která je kombinací obou předchozích. Držitel tedy může tuto opci uplatnit v určitém časovém intervalu.

Jak už bylo zmíněno na začátku této kapitoly, cena opce je běžně závislá na vývoji podkladového aktiva nebo veličiny. Běžně existují opce s jedním podkladovým aktivem, ale existují opce i s více podkladovými aktivy. Jedním takovým typem opcí jsou tzv. duhové opce. Jedná se o opce, které jsou závislé na dvou nebo více rizikových podkladových aktivech. Běžně je v kontextu duhových opcí používána terminologie dvoubarevná, třibarevná atd. Počet barev vyjadřuje počet rizikových podkladových aktiv. V praktické části této práce budou tyto opce použity. Důležitým aspektem opcí je jejich cena. Cena opce vyjadřuje hodnotu, kterou musí

kupující vynaložit za práva spojené s opcí. V případě zakoupení opce se dále tato hodnota vyjadřuje cenu, za kterou lze opci v průběhu její životnosti prodat nebo nakoupit. Cena opce je závislá na vývoji 6. primárních faktorů.

2.1.1 Faktory ovlivňující cenu opce

V této podkapitole jsou blíže popsány faktory, které ovlivňují cenu opce.

Hodnota podkladového aktiva

Jestliže je cena opce přímo odvozena z hodnoty podkladového aktiva, lze konstatovat, že podkladové aktivum patří mezi faktory ovlivňující cenu opce. Pokud dojde k růstu hodnoty podkladového aktiva, dochází v případě kupní opce k růstu ceny. Naopak pokud se jedná o prodejní opci, s rostoucí hodnotou podkladového aktiva klesá její cena.

Volatilita podkladového aktiva

Volatilita vyjadřuje, s jakou pravděpodobností se hodnota podkladového aktiva bude lišit od realizační ceny. Se zvýšením volatility se zvyšuje výše případného pozitivního, nebo negativního vývoje. S rostoucí volatilitou se tedy zvyšuje cena kupní i prodejní opce.

Realizační cena

Realizační cena je důležitým parametrem opce, který je sjednán před uzavřením kontraktu. Vyjadřuje cenu, za kterou vlastník kupní opce bude nakupovat podkladové aktivum. V případě prodejní opce jde o cenu, za kterou bude podkladové aktivum prodávat. S rostoucí realizační cenou klesá pravděpodobnost, že bude kupní opce uplatněna a současně tedy klesá i cena opce. Pro prodejní opce je tento vliv opačný.

Doba do splatnosti

Doba do splatnosti vyjadřuje období, během kterého lze opci uplatnit. Čím vyšší je doba do splatnosti tím vyšší bude cena, protože má majitel opce delší časový úsek, během kterého může opci uplatnit. Proto americká opce, která má delší dobu splatnosti, musí mít větší cenu než opce evropská. Evropská opce je uplatněna na konci doby splatnosti, proto je časový úsek pro využití takovéto opce stejný pro dvě opce s různou dobou do splatnosti.

Bezriziková úroková sazba

Bezriziková úroková vyjadřuje výnos bezrizikové investice. Působí na cenu opce, protože ovlivňuje současnou hodnotu realizační ceny. S rostoucí bezrizikovou sazbou se cena kupní opce zvyšuje a v případě prodejní opce snižuje.

Výplata dividend

Výplata dividend vede k dočasnému poklesu ceny akcie v čase výplaty. Pokud se tedy snižuje cena podkladového aktiva (akcie), vede to současně k poklesu ceny opce. Pro prodejní opci je tento vztah opačný.

2.1.2 Zisk, vnitřní a časová hodnota opcí

Vnitřní hodnotu lze stanovit jako rozdíl mezi hodnotou podkladového aktiva a realizační cenou. Jedná se o část opční prémie, která vyjadřuje, kolik zaplatí kupující za vlastnictví opce prodávajícímu. Minimální výsledná hodnota je nulová. Pro kupní opci lze tuto hodnotu vyjádřit jako

$$VH_T^K = \text{MAX}(S_T - X; 0), \quad (2.1)$$

kde S_t je hodnota podkladového aktiva v čase splatnosti, X je realizační cena opce. Pro prodejní opci lze vnitřní hodnotu vyjádřit jako

$$VH_T^P = \text{MAX}(X - S_T; 0). \quad (2.2)$$

Ze vztahu (2.1) je patrné že kupní opce bude uplatněna v případě, když je hodnota podkladového aktiva vyšší než realizační cena. Pro prodejní opci dle (2.2) platí opačný vztah, tedy opce je uplatněna, pokud je realizační cena vyšší než hodnota podkladového aktiva. V čase splatnosti opce se vnitřní hodnota opce rovná ceně opce. V případě opcí musí být brána v úvahu časová hodnota opce, protože je součástí ceny opce (opční prémie). Časovou hodnotu prodejní a kupní evropské opce lze vyjádřit jako, rozdíl mezi cenou opce a vnitřní hodnotou opce. Na základě těchto vztahů lze zisk z kupní opce vypočítat jako

$$Z_T^K = VH_T^K - C_t^K = \text{MAX}(S_T - X - C_t^K; -C_t^K), \quad (2.3)$$

kde C_t^K je cena kupní opce v čase t . Pro prodejní opci platí vztah,

$$Z_T^P = VH_T^P - C_t^P = \text{MAX}(S_T - X - C_t^P; -C_t^P). \quad (2.4)$$

2.2 Reálné opce

Dle Muna (2016) je metoda reálných opcí systematický přístup, který v sobě pojí finanční teorii, ekonomickou analýzu, opční, statistickou a ekonometrickou teorii při oceňování reálných aktiv za rizika. Pro vypracování této kapitoly je využito publikací Čulík (2013) a Mun

(2016). V případě hodnocení investic pomocí diskontovaných peněžní toků existuje předpoklad, že naplánované hodnoty se budou s jistotou uskutečňovat, strategický plán je dodržen ve všech obdobích životnosti investice a riziko je zohledněno pomocí rizikově upraveném nákladu kapitálu. Naopak v reálných případech lze pozorovat, že vývoj peněžní toků projektu nelze s naprostou jistotou předpokládat a vždy panuje nějaká nejistota (riziko) ohledně vývoje investice. Důležitý aspekt, pomocí kterého je tento problém řešen je předpoklad více scénářů vývoje a manažerská flexibilita. Manažerská flexibilita je možnost reagovat na náhodný budoucí vývoj manažerem investice. Existuje tedy možnost managementu společnosti efektivně reagovat na různé scénáře vývoje investice. Díky manažerským zásahům je možné v případě negativního vývoje odvrátit případné ztráty a v rámci pozitivního vývoje zase zlepšit případné výnosy. Pokud jsou zahrnuta tato manažerská rozhodnutí do oceňování projektu, dochází ke zvýšení hodnoty projektu. Při oceňování pomocí reálných opcí lze proto uskutečnit takové projekty, které by byly při využití tradičních metod zamítnuty. Manažerská rozhodnutí jsou modelována jako kupní a prodejní opce, které může manažer projektu za určitých podmínek uplatnit. Rozhodnutí managementu lze zahrnout do rozhodování dle vztahu,

$$NPV(s\text{ opcí}) = NPV(\text{bez opce}) + \text{hodnota flexibility}, \quad (2.5)$$

úpravou tohoto vztahu lze hodnotu flexibility vyjádřit jako

$$\text{hodnota flexibility} = NPV(s\text{ opcí}) - NPV(\text{bez opce}). \quad (2.6)$$

Tyto dva vztahy vyjadřují základní princip, na kterém je hodnocení projektu pomocí reálných opcí založeno.

2.2.1 Faktory ovlivňující cenu reálných opcí

Při srovnání reálných a finančních opcí existují ještě další odlišnosti oproti finančním opcím, které ovlivňují jejich cenu. Popis těchto rozdílů je předmětem této podkapitoly.

Hodnota podkladového aktiva

Jak již bylo zmíněno na začátku této podkapitoly, reálné opce slouží k ocenění reálných aktiv, proto podkladovým aktivem je hodnota investičního projektu. Stejně jako v případě finančních opcí, pokud roste cena podkladového aktiva, roste současně i hodnota reálné opce. Pro prodejní opce platí opět vztah opačný.

Volatilita podkladového aktiva

Při zvýšení rizika podkladového aktiva, které je vyjádřeno volatilitou, dojde ke zvýšení ceny jak prodejní, tak kupní reálné opce. Důvodem je, že s růstem volatility dojde ke zvýšení počtu opcí, které budou v budoucnu realizovány.

Realizační cena

Pro různé druhy reálných opcí lze charakterizovat realizační cenu různě. Mohou to být například investiční výdaje, desinvestiční příjem, prodejní zůstatková cena, apod. Při růstu realizační ceny bude docházet k růstu ceny kupní reálné opce a pro prodejní opce bude docházet poklesu ceny.

Doba do splatnosti

Doba do splatnosti je vyjádřena intervalem, ve kterém může být reálná opce uplatněna. Nejčastěji je použita americká opce, při které lze reálnou opci uplatnit v jakémkoliv okamžiku životnosti projektu. Pokud lze uplatnit opci pouze na konci životnosti projektu, jedná se o evropskou opci. Záleží především na typu opce. Delší doba splatnosti je promítnuta v reálných opcích vyšší cenou.

Cena opce

Cena reálných opcí je vyjádřena jako flexibilita projektu. V případě použití více reálných opcí současně, je cena vyjádřena součtem flexibilit jednotlivých reálných opcí. Flexibilita projektu musí být nezáporná, pokud je hodnota nulová, flexibilita nepřináší žádnou dodatečnou hodnotu projektu a reálná opce není uplatněna.

2.2.2 Druhy reálných opcí

Mezi základní typy reálných opcí se řadí opce na opuštění projektu, rozšíření projektu, zúžení projektu, změnu technologií projektu a dočasné přerušení projektu. V praktické části jsou využity první ze tří výše uvedených, proto v následujících podkapitolách jsou detailně popsány pouze tyto tři druhy.

Opce na opuštění projektu

Opci na opuštění projektu lze využít nejčastěji v takových případech, kdy se peněžní toky z investice vyvíjejí dlouhodobě nepříznivým způsobem. Díky této reálné opci dostává management společnosti možnost odprodat projekt. Projekt může být v budoucnosti odprodán za předem stanovenou cenu, proto lze opci na opuštění projektu charakterizovat jako prodejní opci. Management společnosti opci na opuštění projektu uplatní, pokud prodejní cena bude vyšší než současná hodnota peněžních toků. Podkladové aktivum u tohoto typu reálné opce je

součtem očekávaných peněžní toků, diskontovaných k momentu uplatnění opce, které by investice generovala, pokud by se v projektu pokračovalo. Realizační cenou je prodejní cena projektu. Obecně lze opci na ukončení projektu charakterizovat jako prodejní opci. Vnitřní hodnota opce je vypočítána jako

$$VH_t^A = \text{MAX}(A_t - V_t^A; 0), \quad (2.7)$$

kde V_t^A je hodnota projektu s opcí na opuštění projektu v čase t a A_t je prodejní cena projektu. Hodnotu projektu s opcí na opuštění projektu lze vyjádřit jako

$$V_t^A = \text{MAX}(A_t; V_t^A), \quad (2.8)$$

rozhodovací funkce má tedy tvar,

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{odprodat projekt, pokud } A_t > V_t^A, \\ \text{pokračovat v projektu, pokud } A_t \leq V_t^A. \end{cases} \quad (2.9)$$

Hodnota flexibility pro tuto opci je vypočítána dle vzorce (2.6). Využitím této opce pro hodnocení projektu vzniká managementu společnosti jakási záchranná síť pro případ, kdy se peněžní toky z investice vyvíjejí dlouhodobě nepříznivým způsobem. Díky opci na opuštění projektu může být uskutečněno mnoho projektů, které by dle tradičních metod hodnocení měli být zamítnuty.

Opce na rozšíření projektu

Opce na rozšíření projektu je nejčastěji využita v případech, kdy se peněžní toky z projektu vyvíjejí příznivějším způsobem, než byl původně předpokládán. Management společnosti v takovém případě má právo na rozšíření kapacit v průběhu projektu. S rozšířením však souvisejí dodatečné investiční náklady. Obecně se dá tato opce charakterizovat jako kupní opce. Opce na rozšíření projektu bude uplatněna, pokud jsou investiční náklady na rozšíření investice menší, než současná hodnota peněžní toků, generovaných projektem po rozšíření projektu. Celkové množství rozšířených kapacit je nejčastěji vyjádřeno v procentech. Podkladovým aktivem je část očekávaných peněžní toků, které byly získány rozšířením projektu. Realizační cenou jsou investiční výdaje na rozšíření projektu. Vnitřní hodnota opce na rozšíření projektu je vyjádřena vztahem,

$$VH_t^E = \text{MAX}(V_t^E - E_t; 0), \quad (2.10)$$

kde V_t^E je hodnota projektu s opcí na rozšíření projektu v čase t a E_t jsou dodatečné investiční náklady spojené s rozšířením opce. Hodnota projektu s opcí na rozšíření je vypočtena jako

$$V_t^E = V_t + \text{MAX}(V_t^E - E_t ; 0), \quad (2.11)$$

kde V_t je hodnota zbylé části kapacit, které nebyly předmětem rozšíření. Rozhodovací funkce má tvar,

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{rozšířit projekt, pokud } V_t^E \geq E_t, \\ \text{ponechat projekt bez rozšíření, pokud } V_t^E < E_t. \end{cases} \quad (2.12)$$

Hodnota flexibility pro tuto opci je opět vypočítána dle vzorce (2.6). Díky opci na rozšíření může management společnosti, v případě příznivého vývoje, dosáhnout ještě lepších finančních výsledků, než by bylo možné v případě využití tradičních metod hodnocení.

Opce na zúžení projektu

Opcí na zúžení projektu dostává management společnosti právo odprodat část svých kapacit projektu, v případě, kdy se hodnota peněžních toků vyvíjí nepříznivějším způsobem, než bylo původně předpokládáno. S tímto zúžením projektu jsou spojené desinvestiční náklady. Opcí na zúžení projektu lze charakterizovat jako prodejní opci. Podkladovým aktivem jsou očekávané peněžní toky, které by společnost dostala v případě neprodání kapacit projektu spojených s opcí. Realizační cenou jsou desinvestiční příjmy spojené s uplatněním opce. Opce na zúžení bude uplatněna, pokud budou desinvestiční příjmy vyšší, než součet očekávaných peněžních toků, které generuje ta část kapacit projektu spojená s opcí na zúžení projektu. Snížení kapacit projektu je nejčastěji vyjádřeno v procentech. Vnitřní hodnotu opce na zúžení projektu lze vyjádřit jako

$$VH_t^C = \text{MAX}(C_t - V_t^C ; 0), \quad (2.13)$$

kde V_t^C je hodnota projektu s opcí na zúžení v čase t a C_t jsou desinvestiční příjmy spojené se zúžením opce. Hodnota projektu s opcí na zúžení lze vyjádřit jako

$$V_t^C = V_t + \text{MAX}(C_t - V_t^C ; 0), \quad (2.14)$$

kde V_t je hodnota zbylé části kapacit, které nebyly předmětem zúžení. Rozhodovací funkci lze zapsat jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{zúžit projekt, pokud } V_t^C \leq C_t, \\ \text{ponechat projekt bez zúžení, pokud } V_t^C > C_t. \end{cases} \quad (2.15)$$

Hodnota flexibility pro opci na zúžení projektu je opět vypočítána dle (2.6). Podobně jako opce na opuštění projektu, tato opce poskytne managementu společnosti možnost snížit případné ztráty způsobené nepříznivým vývojem.

2.3 Modely oceňování opcí

Pro oceňování opcí existuje více metod a postupů. Obecně lze tyto modely oceňování opcí dělit na spojité a diskrétní. Součástí diskrétních modelů je předpoklad, že vývoj hodnot aktiv probíhá pouze v konečném množství diskrétních časových bodů. Pro spojité procesy existuje předpoklad, že vývoj hodnoty aktiva lze popsat pomocí nekonečné množiny časových okamžiků. Mezi modely sloužící k oceňování opcí lze zařadit:

- analytické modely (např. Black-Scholes model a jeho modifikace),
- simulační modely (např. Monte Carlo simulace),
- numerické (např. Binomický model).

Analytické modely jsou založeny na řešení diferenciálních rovnic za určitých předpokladů. Za jisté negativum analytických modelů lze považovat skutečnost, že je možné je použít hlavně pro evropské opce, ale nelze je využít pro složitější opce např. Bermudské opce. Pro americké opce lze provést pouze aproximaci. Pro simulační modely existuje obdobné omezení, v případě použití Monte Carlo simulace ji nelze pro americkou opci využít vůbec. Výše popsané omezení ale neplatí pro numerické modely, do kterých patří Binomický model. Binomický model oproti ostatním modelům lze snadněji uplatnit, lze jej využít pro oceňování různých typů opcí včetně americké, bermudské, apod. Dále je vhodný pro hodnocení manažerské flexibility a je snadno vysvětlitelný managementu společnosti. Obsahem následujících kapitol je formulace spojitého Black-Scholesova modelu a diskrétního binomického modelu a jeho modifikací. Pro vypracování této kapitoly je využito publikací Zmeškal, Dluhošová, Tichý (2013), Čulík (2013), Tichý (2006) a Kodukula, Prasad a Papudesu (2006)

2.3.1 Binomický model

Velmi hojně používaným modelem pro oceňování opcí je Binomický model. Jedná se o diskrétní model, kdy hodnoty procesu lze zachytit jako diskrétní časové okamžiky a změny probíhají rovněž v diskrétních intervalech. Binomický model je založen na předpokladu

nemožnosti provádět arbitráž, zákona jedné rovnovážné ceny, neexistence daní a transakčních nákladů, neutrálního postoje k riziku, nekonečně dělitelných aktiv a dokonale informovaného trhu. U Binomického modelu se dále předpokládá, že vývoj podkladového aktiva může pro další časové období nabývat pouze dvou rozdílných hodnot. S určitou přechodovou pravděpodobností bude hodnota podkladového aktiva růst a s určitou přechodovou pravděpodobností bude hodnota podkladového aktiva klesat. Dle Zmeškal, Dluhošová a Tichý (2013) pro oceňování opcí pomocí tohoto modelu existují dva přístupy, replikační strategie a hedgingová strategie.

Replikační strategie

Replikační strategie je založena na vytvoření portfolia z podkladového aktiva a bezrizikového aktiva, které v čase kopíruje hodnotu opce. Při jakémkoliv vývoji je tedy hodnota vytvořeného portfolia a opce totožná.

Binomický model pro jedno období

V binomickém modelu pro jedno období existuje předpoklad, že existují pouze dva časové okamžiky, jeden výchozí a jedno následující období. Splatnost opce nastane v následujícím období. Hodnota vytvořeného portfolia a opce v čase t se dá zapsat jako

$$C_t = \alpha \cdot S_t + B_t, \quad (2.16)$$

kde C_t je hodnota opce, α je množství podkladového aktiva, S_t je hodnota podkladového aktiva a B_t je hodnota bezrizikového aktiva. V případě růstu hodnoty podkladového aktiva v čase $t + dt$, lze cenu replikačního portfolia vyjádřit jako

$$C_{t+dt}^u = \alpha \cdot S_{t+dt}^u + B_t \cdot (1 + R_f)^{dt}, \quad (2.17)$$

kde R_f je bezriziková úroková míra. Při poklesu pak lze vyjádřit jako

$$C_{t+dt}^d = \alpha \cdot S_{t+dt}^d + B_t \cdot (1 + R_f)^{dt}. \quad (2.18)$$

Pro matematické vyjádření ceny evropské call opce, musí platit následující vztahy. Pokud se cena evropské call opce v době splatnosti rovná vnitřní hodnotě, současně pro evropskou call opci platí vztahy

$$C_{t+dt}^u = VH_{t+dt}^u = \text{MAX}(S_{t+dt}^u - X; 0), \quad (2.19)$$

$$C_{t+dt}^d = VH_{t+dt}^d = \text{MAX}(S_{t+dt}^d - X; 0), \quad (2.20)$$

kde X je realizační cena opce. Po vyjádření proměnných α , B_t , z rovnic (2.24), (2.25) lze dosazením do (2.23) formulovat obecný vztah pro výpočet ceny opce jako

$$C_t \cdot (1 + R_f)^{dt} = C_{t+dt}^u \cdot \left[\frac{(1+R_f)^{dt} \cdot S_t - S_{t+dt}^d}{S_{t+dt}^u - S_{t+dt}^d} \right] + C_{t+dt}^d \cdot \left[\frac{S_{t+dt}^u - (1+R_f)^{dt} \cdot S_t}{S_{t+dt}^u - S_{t+dt}^d} \right], \quad (2.21)$$

ve zjednodušeném tvaru vyjádřen jako

$$C_t = [C_{t+dt}^u \cdot p + C_{t+dt}^d \cdot (1 - p)] \cdot (1 + R_f)^{-dt}, \quad (2.22)$$

a

$$C_t = E[C_{t+dt}] \cdot (1 + R_f)^{-dt}, \quad (2.23)$$

kde p je rizikově neutrální pravděpodobnost, $E[C_{t+dt}]$ je rizikově neutrální střední hodnota. Na základě výše vyjádřených vztahů lze vypočítat cenu opce jako střední hodnotu druhého období, na bázi rizikově neutrálních pravděpodobností a diskontovanou bezrizikovou sazbou. Pokud platí vztah

$$S_{t+dt}^u = S_t \cdot u \quad (2.24)$$

a

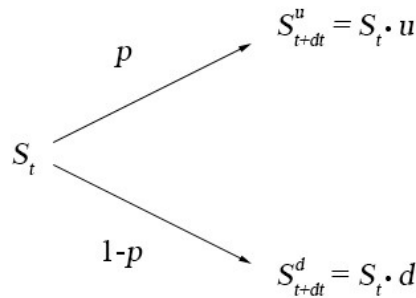
$$S_{t+dt}^d = S_t \cdot d, \quad (2.25)$$

pak rizikově neutrální pravděpodobnosti lze vyjádřit jako,

$$p = \left[\frac{(1+R_f)^{dt} \cdot S_t - S_t \cdot d}{S_t \cdot u - S_t \cdot d} \right] = \left[\frac{(1+R_f)^{dt} - d}{u - d} \right]. \quad (2.26)$$

kde u je index růstu podkladového aktiva, d je index poklesu podkladového aktiva. Vývoj podkladového aktiva pro tento model je znázorněn na Obr. 2.1.

Obr. 2.1 Vývoj podkladového aktiva při použití binomického modelu



Zdroj: Tichý (2006)

V případě americké opce je nezbytné přidat možnost uplatnění opce před okamžikem zralosti. Proto pro výpočet ceny americké opce, se rovnice (2.29) upravuje do tvaru

$$C_t = MAX \left[VH_t ; \left((C_{t+dt}^u \cdot p^u + C_{t+dt}^d \cdot p^d) \cdot (1 + R_f)^{-dt} \right) \right]. \quad (2.27)$$

Celý model je opět založen na principu nemožnosti arbitráže, a proto i v tomto případě musí platit vztah

$$d < (1 + R_f)^{dt} < u. \quad (2.28)$$

Binomický model pro více období

Pro předchozí model byl předpokládána změna hodnoty podkladového aktiva jen pro dva časové okamžiky. V tomto případě se počítá že změny hodnoty podkladového aktiva probíhají ve více časových okamžicích. Cenu evropské opce lze formulovat jako současnou hodnotu střední hodnoty náhodné vnitřní hodnoty opce v čase T . Matematické vyjádření pro tento výpočet je

$$C_t = E[VH_T] \quad (2.29)$$

a pokud je R_f bezriziková úroková sazba za jeden časový interval, j označuje počet růstů ceny do zralosti opce T , π_j označuje pravděpodobnost stavu j a n označuje množství časových intervalů, pak cenu evropské

$$C_t = \left(1 + R_f \frac{T}{n}\right)^{-n} \cdot \sum_{j=0}^n [\pi_j \cdot MAX(S_{T,j} - X ; 0)], \quad (2.30)$$

více rozepsané jako,

$$C_t = \left(1 + R_f \frac{T}{n}\right)^{-n} \cdot \sum_{j=0}^n [K_{O(j,n)} p^j \cdot (1 - p^u) \cdot MAX(S_t \cdot u^j \cdot d^{n-j} - X ; 0)], \quad (2.31)$$

kde $K_{O(j,n)}$ označuje j -tou kombinaci z celkového počtu n prvků, p^u označuje pravděpodobnost růstu ceny evropské opce během jednoho intervalu, u označuje index růstu ceny a d označuje index poklesu ceny během jednoho intervalu. V binomickém modelu pro více období stejně jako v předchozích modelech odhadnout hodnotu proměnných q , u a d . Za předpokladu že podkladovým aktivem je akcie a pokud předpokládáme spojitý vývoj podkladového aktiva v rizikově neutrálním prostředí, střední hodnota akcie se rovná ceně akcie za bezrizikového výnosu a současně platí vztah

$$dt = \frac{T}{n}, \quad (2.32)$$

pak

$$S_t \cdot e^{\sigma \cdot \sqrt{dt}} = p^u \cdot S_t \cdot u + (1 - p^u) \cdot S_t \cdot d, \quad (2.33)$$

upraveno do tvaru

$$e^{\sigma \cdot \sqrt{dt}} = p^u \cdot u + (1 - p^u) \cdot d. \quad (2.34)$$

Dále se předpokládá, že rozptyl proporciální změny ceny akcie se rovná $\sigma^2 \cdot dt$, zapsáno jako

$$p^u \cdot u^2 + (1 - p^u) \cdot d^2 - [p^u \cdot u + (1 - p^u) \cdot d]^2 = \sigma^2 \cdot dt \quad (2.35)$$

a současně platí vztah

$$u \cdot d = 1. \quad (2.36)$$

Vyřešením rovnic (2.34), (2.35), (2.36), lze matematicky vyjádřit rizikově neutrální pravděpodobnost růstu jako

$$p^u = \frac{e^{\sigma \cdot \sqrt{dt}} - d}{u - d}, \quad (2.37)$$

pro pokles ve tvaru

$$p^d = 1 - p^u, \quad (2.38)$$

dále index růstu u ve tvaru

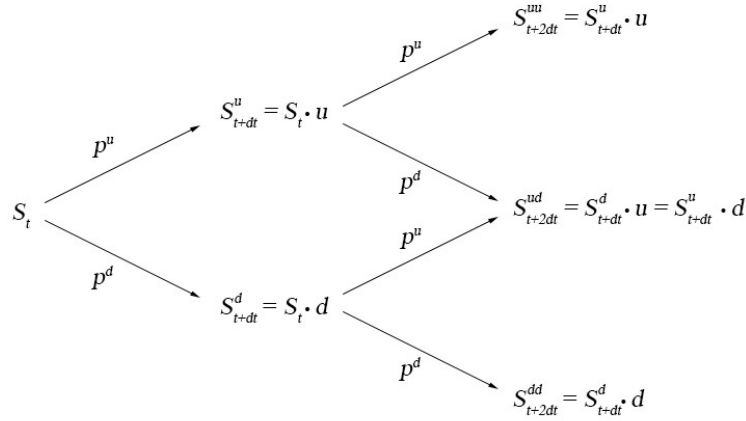
$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{dt}} \quad (2.39)$$

a pro index poklesu ve tvaru

$$d = e^{-\sigma \cdot \sqrt{dt}}. \quad (2.40)$$

Schéma vývoje podkladového aktiva pro toto rozšíření modelu je znázorněno na Obr. 2.2.

Obr. 2.2 Vývoj podkladového aktiva při použití binomického modelu pro více období



Zdroj: Tichý (2006)

Binomický model na bázi hedgingové strategie pro jedno období

Hedgingová strategie je také založena na vytvoření portfolia aktiv. Hlavním rozdílem oproti replikační strategii je, že se portfolio vytváří z podkladového aktiva a opce takovým způsobem, aby se při vývoji v čase docílilo bezrizikového výnosu. Při vývoji hodnoty podkladového aktiva je případný růst nebo pokles kompenzován ziskem nebo ztrátou z pozice, ve které je opce otevřena. Hodnota portfolia v čase t je vyjádřena jako

$$\Pi_t = h \cdot S_t - C_t, \quad (2.41)$$

následně v případě růstu podkladového aktiva je hodnota hedgingového portfolia v čase $t + dt$ vyjádřena jako

$$\Pi_{t+dt}^u = h \cdot S_{t+dt}^u - C_{t+dt}^u, \quad (2.42)$$

a v případě poklesu podkladového aktiva je portfolio rovno

$$\Pi_{t+dt}^d = h \cdot S_{t+dt}^d - C_{t+dt}^d, \quad (2.43)$$

kde h označuje množství podkladového aktiva a Π označuje hodnotu hedgingového portfolia. Hodnota portfolia je zajištěna proti změnám podkladového aktiva, proto se hodnota portfolia nemění a bude stejná na konci i na začátku. Tento vztah mezi hodnotou podkladového aktiva a opce lze vyjádřit jako

$$h \cdot S_{t+dt}^u - C_t = h \cdot S_{t+dt}^d - C_t, \quad (2.44)$$

vyjádřením proměnné h z rovnice je dán vztah

$$h = \frac{C_{t+dt}^u - C_{t+dt}^d}{S_{t+dt}^u - S_{t+dt}^d}. \quad (2.45)$$

Pro portfolio musí být zajištěn bezrizikový výnos, proto musí být vzorec (2.33) pro případ růstu podkladového aktiva upraven jako

$$(h \cdot S_t - C_t) \cdot (1 + R_f)^{dt} = h \cdot S_{t+dt}^u - C_{t+dt}^u \quad (2.46)$$

a pro případ kdy hodnota podkladového aktiva klesá je vzorec (2.34) upraven do tvaru

$$(h \cdot S_t - C_t) \cdot (1 + R_f)^{dt} = h \cdot S_{t+dt}^d - C_{t+dt}^d. \quad (2.47)$$

Cena opce je na základě výše uvedených vztahů pro růst podkladového aktiva vyjádřena jako

$$C_t = h \cdot S_t - (h \cdot S_{t+dt}^u - C_{t+dt}^u) \cdot (1 + R_f)^{-dt}, \quad (2.48)$$

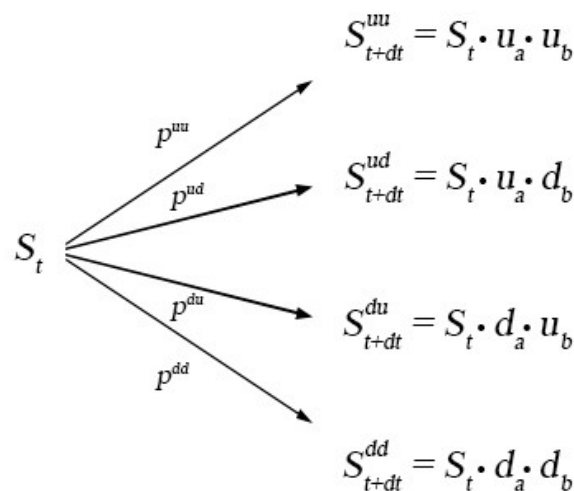
a pro pokles

$$C_t = h \cdot S_t - (h \cdot S_{t+dt}^d - C_{t+dt}^d) \cdot (1 + R_f)^{-dt}. \quad (2.49)$$

2.3.2 Binomický model pro dvě náhodné proměnné

V reálném prostředí může ovlivňovat cenu opce více než jedna proměnná, proto je nezbytné binomický model rozšířit o tuto možnost. Pokud se předpokládá, že cenu opce ovlivňují dvě náhodné proměnné, pak se tato opce nazývá duhová opce. Pro tyto dvě náhodné proměnné se předpokládá, že jejich vývoj lze popsat pomocí stochastického Brownova pohybu.

Obr. 2.3 kvadronomický strom pro jedno období



Zdroj: Tichý (2006)

Pro vývoj jednotlivých proměnných je pro znázornění použit binomický strom. Na základě těchto dvou binomických stromů je zkonstruován kvadronomický strom, který je znázorněn na Obr. 2.2. Pro každou z proměnných jsou stanoveny indexy růstu ($u_a; u_b$) a poklesu ($d_a; d_b$). Pro výpočet přechodových pravděpodobností jsou formulovány 4 rovnice. Přechodové pravděpodobnosti tedy lze vyjádřit jako

$$p^{uu} = p_a^u \cdot p_b^u, \quad (4.50)$$

$$p^{ud} = p_a^u \cdot p_b^d, \quad (4.51)$$

$$p^{du} = p_a^d \cdot p_b^u, \quad (4.52)$$

$$p^{dd} = p_a^d \cdot p_b^d, \quad (4.53)$$

kde p_a^u a p_a^d označují přechodové pravděpodobnosti pro růst a pokles podkladového aktiva a, p_b^u a p_b^d označují přechodové pravděpodobnosti pro růst a pokles podkladového aktiva b. Pro výpočet přechodových pravděpodobností pro jednotlivé podkladová aktiva, jsou založena na vzorci (2.26).

2.3.3 Black-Scholesův model

Blackův a Scholesův model (BS model) oceňování opcí je analytický spojitý model. Hlavním rozdílem oproti binomickému modelu je spojitý vývoj podkladového aktiva. BS model pro oceňování opce, kde jako podkladové aktivum je akcie, vychází z předpokladů, že

- model je formulován pro oceňování evropské opce,
- předpokládá se dokonalý kapitálový trh,
- cena podkladového aktiva se vyvíjí dle verze geometrického Brownova pohybu s logaritmickými cenami,
- ceny jsou nezávislé na očekávaném výnosu,
- volatilita a bezriziková sazba se v čase nemění,
- akcie se uvažuje bez výplaty dividend.

Pro evropskou call opci na základě výše uvedených předpokladů, lze cena této opce vyjádřit jako

$$c = S_0 \cdot N(d_1) - e^{R_f - T} \cdot X \cdot N(d_2), \quad (2.54)$$

kde proměnou d_1 lze vyjádřit vztahem

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S_0}{X}) + (R_f + \frac{\sigma^2}{2}) \cdot T}{\sigma \cdot \sqrt{T}} \quad (2.55)$$

a pro proměnnou d_2

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T}, \quad (2.56)$$

kde S_0 označuje výchozí hodnotu podkladového aktiva, X je realizační cena opce, R_f označuje bezrizikovou sazbu, σ označuje směrodatnou odchylku spojitého výnosu podkladového aktiva, T označuje dobu do splatnosti opce, $N(d_1)$ a $N(d_2)$ označují hodnotu funkce pro kumulativní normované normální rozdělení, $e^{R_f - T}$ označuje diskontní faktor. V případě využití evropské put opce, lze cenu této opce vyjádřit jako

$$p = S_0 \cdot N(d_1) - e^{R_f - T} \cdot X \cdot N(d_2), \quad (2.57)$$

kde vztah mezi put a call opcí (put-call parita) lze vyjádřit vztahem

$$c \cdot e^{R_f - T} \cdot X = p + S_0. \quad (2.58)$$

Parametry S_0 , X , R_f a T lze vyjádřit z výše uvedených vzorců. V tomto případě je nezbytné dopočítat parametr σ . Pro odvození směrodatné odchylky se využívá dvou přístupů, historický přístup a přístup implikované volatility. Pro výpočet při využití historického přístupu se vychází z historických uzavíracích kurzů podkladového aktiva. Na základě těchto uzavíracích cen se vypočítá průměrný denní výnos, výběrový rozptyl denních výnosů a následný přepočet rozptylu na roční bázi, podle, kterého se vypočítá roční volatilita. Přístup implikované volatility je opět založen na tržních uzavíracích cenách podkladového aktiva. Hodnota směrodatné odchylky je na základě těchto tržních cen odvozena pomocí BS modelu dle vzorce (2.50).

3 Popis oceňovaného projektu

Součástí této kapitoly je popis investičního projektu a stanovení vstupních parametrů. Oceňování je provedeno na investičním projektu společnosti X, která si nepřeje být jmenována. Společnost investuje finanční prostředky z vlastního zdrojů. Předmětem investice je rozšíření výrobních kapacit o 3 výrobní stroje, sloužící k výrobě forem pro automobilový průmysl. Tyto formy jsou dále využívány v automobilových společnostech k výrobě odlitků.

Pro projekt jsou stanoveny dva rizikové faktory. První náhodnou proměnou je objem výroby, který je v roce t_0 200 kusů. Směrodatná odchylka na základě dat minulých let je stanovena pro objem výroby ve výši 25 %. Druhou náhodnou proměnou je výrobní cena vyráběné formy. V čase t_0 je výrobní cena formy 65 000 Kč za kus. Směrodatná odchylka na základě dat minulých let je stanovena pro výrobní cenu na 40 %. Vývoj těchto dvou rizikových faktorů bude předmětem predikcí v následující kapitole. Na základě těchto dvou veličin jsou vypočítány tržby. Součástí dalších výpočtů je bezriziková sazba, která se je stanovena ve výši 1,25 %. Investiční výdaje spojené s pořízením výrobních strojů jsou ve výši 30 000 000 Kč. Výše odpisů je stanovena metodou rovnoměrného odepisování po dobu 10 let. Pro první rok investice je hodnota odpisů ve výši 1 650 000 Kč. Po zbytek životnosti projektu je výše odpisů ve výši 3 150 000 Kč. Variabilní náklady spojené s výrobou jsou vypočítány jako 60 % z tržeb. Fixní náklady jsou konstantní ve výši 2 000 000 Kč. Příjem podléhá 19% zdanění. V důsledku investice nedošlo ke změnám čistého pracovního kapitálu, proto tato hodnota je v následujících výpočtech nulová.

Tab. 3.1 Vstupní parametry investičního projektu

$Q_0 = 200$ kusů	$\sigma_q = 25 \%$
$P_0 = 65\,000$ Kč	$\sigma_p = 40 \%$
$R_f = 1,25 \%$	$FC = 2\,000\,000$ Kč
$VC = 60 \%$	$Daň = 19 \%$
Odpisy v 1. roce = 1 650 000 Kč	
Odpisy v 2. až 10. roce = 3 150 000 Kč	
Investiční výdaje projektu = 30 000 000 Kč	

Zdroj: vlastní zpracování

4 Ocenění projektu a zhodnocení výsledků

Obsahem této kapitoly je aplikace reálných opcí při oceňování výše popsané investice a vyjádření získaných výsledků. Při oceňování je použit rizikově neutrální přístup a vzhledem k existenci dvou rizikových faktorů je využit kvadronomický strom. Pro srovnání jsou všechny výpočty provedeny ve dvou variantách. V první variantě neexistuje u náhodných proměnných Q a P vzájemná korelace. Naopak výpočty v případě druhé varianty tuto korelaci obsahují. Výpočty v této kapitole jsou provedeny v následujících krocích:

1. predikce vývoje náhodných proměnných pro jednotlivé roky,
2. výpočet rizikově neutrálních pravděpodobností projektu,
3. výpočet FCF plynoucí z projektu a ocenění projektu bez flexibility,
4. výpočet a ocenění hodnoty projektu s opcí na opuštění projektu,
5. výpočet a ocenění hodnoty projektu s opcí na rozšíření projektu,
6. výpočet a ocenění hodnoty projektu s opcí na zúžení projektu,
7. výpočet a ocenění hodnoty projektu s portfoliem opcí,
8. citlivostní analýza, výpočet hodnoty flexibility a grafické znázornění,

Každý z výše uvedených kroků bude předmětem jednotlivých podkapitol.

4.1 Predikce náhodných proměnných

Proměnné Q a P jsou stěžejní součástí výpočtu FCF (volných peněžních toků), proto je třeba s jejich predikcí začít jako první. Predikce těchto náhodných proměnných je založena na využití binomického procesu pro více období. Náhodný vývoj těchto proměnných je uvažován pouze pro tři časové období. V následujících letech jsou hodnoty pro každý rok stejné jako v t_2 . Jako první je nezbytné vypočítat koeficient růstu u a poklesu d dle vzorců (2.39) a (2.40). Součástí těchto výpočtů je i směrodatná odchylka σ , jejíž hodnota je stanovena ve 3. kapitole. Výsledky výpočtů jsou předmětem Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Koeficienty růstu a poklesu pro Q a P

u_q	1,284	u_p	1,492
d_q	0,779	d_p	0,670

Zdroj: vlastní zpracování

Pomocí těchto koeficientů jsou dále počítány predikce vývoje pro jednotlivé časové období. Množství Q a cena P v čase t_0 jsou rovny výchozím hodnotám, které jsou součástí Tab. 3.1. Následující uzly v čase t_1 a t_2 jsou počítány dle (2.24) a (2.25). Binomický strom s výsledky je součástí Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Binomický strom vývoje náhodných proměnných Q a P

Predikce množství (Q)			Predikce ceny (P)		
t_0	t_1	t_2	t_0	t_1	t_2
		330			145
	257			97	
200		200	65		65
	156			44	
		121			29

Zdroj: vlastní zpracování

4.2 Výpočet rizikově neutrální pravděpodobnosti

Nezbytnou součástí oceňování je výpočet pravděpodobností, se kterou mohou jednotlivé varianty nastat. Dále jsou výpočty rozděleny do variant s korelací a bez korelace. Pro variantu bez korelace je prvním krokem stanovení přechodových pravděpodobností dle (2.50), (2.51), (2.52) a (2.53). Výsledky jednotlivých rizikově neutrálních pravděpodobností pro náhodné proměnné Q a P jsou uvedeny v Tab. 4.3.

Tab. 4.3 Přechodové pravděpodobnosti pro Q a P

p^u_q	46,3%	p^u_p	41,7%
p^d_q	53,7%	p^d_p	58,3%

Zdroj: vlastní zpracování

Tím jsou získány celkem 4 možnosti, které mohou nastat s určitou pravděpodobností. Pro rizikově neutrální pravděpodobnosti za korelace platí,

$$p^{uu} = \frac{1}{4} \cdot \frac{u^q \cdot u^p + u^p \cdot g^q + u^q \cdot g^p + \sigma^q \cdot \sigma^p \cdot \rho^{qp}}{u^q \cdot u^p}, \quad (4.1)$$

$$p^{ud} = \frac{1}{4} \cdot \frac{u^q \cdot u^p + u^p \cdot g^q + d^q \cdot g^p + \sigma^q \cdot \sigma^p \cdot \rho^{qp}}{u^q \cdot u^p}, \quad (4.2)$$

$$p^{du} = \frac{1}{4} \cdot \frac{u^q \cdot u^p + d^p \cdot g^q + u^q \cdot g^p + \sigma^q \cdot \sigma^p \cdot \rho^{qp}}{u^q \cdot u^p}, \quad (4.3)$$

$$p^{dd} = \frac{1}{4} \cdot \frac{u^q \cdot u^p + d^p \cdot g^q + d^q \cdot g^p + \sigma^q \cdot \sigma^p \cdot \rho^{qp}}{u^q \cdot u^p}, \quad (4.4)$$

kde

$$g^q = R_f + \frac{(\sigma^q)^2}{2}, \quad (4.5)$$

$$g^p = R_f + \frac{(\sigma^p)^2}{2}, \quad (4.6)$$

u^q a u^p jsou koeficienty růstu pro variantu s korelací, d^p a d^q jsou koeficienty poklesu pro variantu s korelací, g^q a g^p je výnos vyráběného množství a výnos ceny produktu, σ^q a σ^p jsou směrodatné odchylky, a p míra korelace náhodných proměnných Q a P . Hodnoty jsou v procentech a pro jednotlivé varianty je jejich součet roven 100 %. Výsledky rizikově neutrálních pravděpodobností pro jednotlivé varianty jsou předmětem Tab. 4.4.

Tab. 4.4 Rizikově neutrální pravděpodobnosti pro projekt s korelací a bez korelace

Bez korelace				S korelací			
		P				P	
		up	down			up	down
Q	up	19,3%	27,0%	Q	up	27,73%	23,98%
	down	22,4%	31,4%		down	25,37%	22,92%

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky lze pozorovat, že v případě varianty s korelací je pravděpodobnost růstu u obou náhodných proměnných větší než v případě bez korelace.

4.3 Výpočet FCF a oceňování projektu bez flexibility

Volné peněžní toky, které investice generuje v jednotlivých letech jsou důležitým základem pro oceňování. Výsledky jsou v tisících korun. Tyto FCF jsou predikovány pro celou životnost projektu. FCF se pro počítají dle,

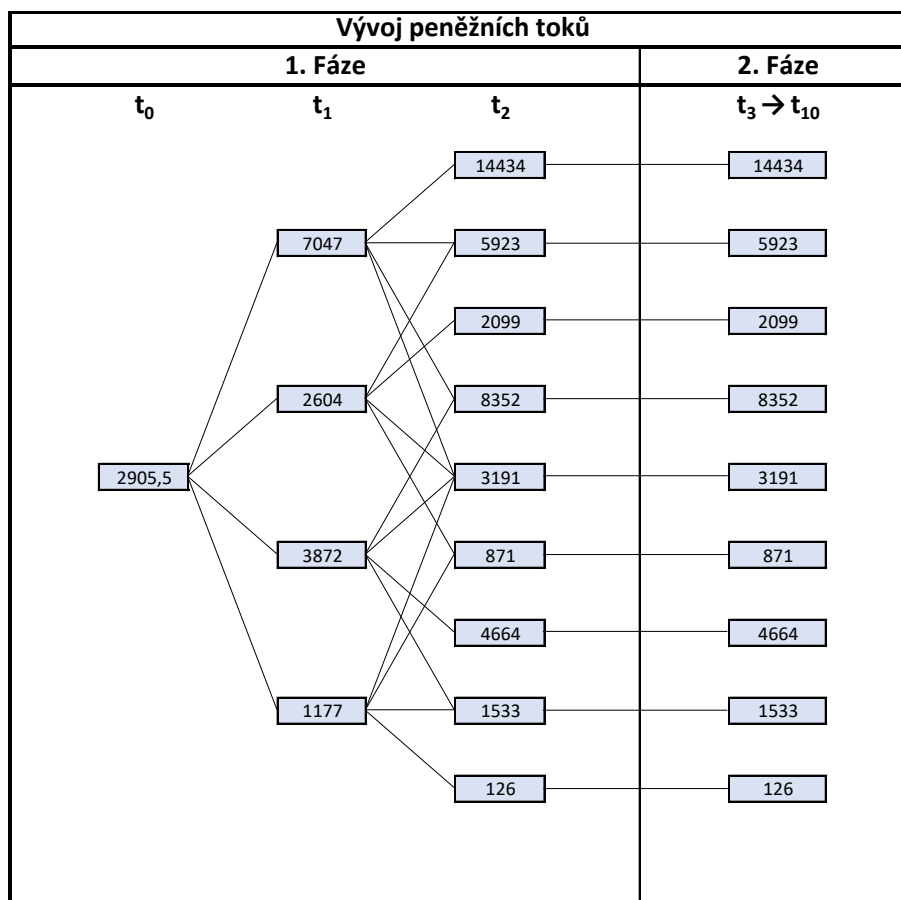
$$FCF_t = (Q_t \cdot P_t - VC \cdot (Q_t \cdot P_t) - FC - ODP_t) \cdot (1 - d) + ODP_t - \Delta\check{CPK}, \quad (5.7)$$

kde Q_t je vyráběné množství v pro daný scénář v čase t , P_t je cena pro daný scénář v čase t , FC jsou fixní náklady, VC jsou variabilní náklady, $\Delta\check{CPK}$ je změna čistého pracovního kapitálu, ODP_t jsou odpisy v čase t a d označuje daň z příjmu právnických osob.

Jak je patrné z Obr. 4.1 a jak už bylo v této kapitole zmíněno, průběh projektu je rozdělen na dvě fáze. První fáze, kde lze pozorovat vývoj náhodných veličin a druhá fáze, kde je pro t_3 až t_{10} vývoj FCF konstantní. Z výsledků je sestaven kvadronomický strom. Každý uzel stromu vyjadřuje jeden scénář vývoje FCF . Pro snazší orientaci v textu budou výpočty rozděleny na variantu s korelací a bez korelace.

Varianta bez korelace

Obr. 4.1 Vývoj volných peněžních toků projektu bez flexibility



Zdroj: vlastní zpracování

Získané výsledky jsou důležité pro ocenění projektu. Koncové scénáře vývoje FCF se rovnají koncovým uzlům kvadronomického stromu použitého pro oceňování. Při oceňování se bude postupovat od konce. Pro ocenění všech scénářů druhé fáze použít vzorec,

$$V_3^i = \frac{FCF_3}{R_f} - \frac{FCF_3}{(1+R_f)^T \cdot R_f} + FCF_3, \quad (4.8)$$

kde V_3 je hodnota projektu v roce 3, FCF_3 je hodnota volných peněžních toků v čase 3, R_f je bezriziková úroková sazba. Hodnota projektu v první fázi pro uzly v čase t_2 se počítá pomocí vzorce,

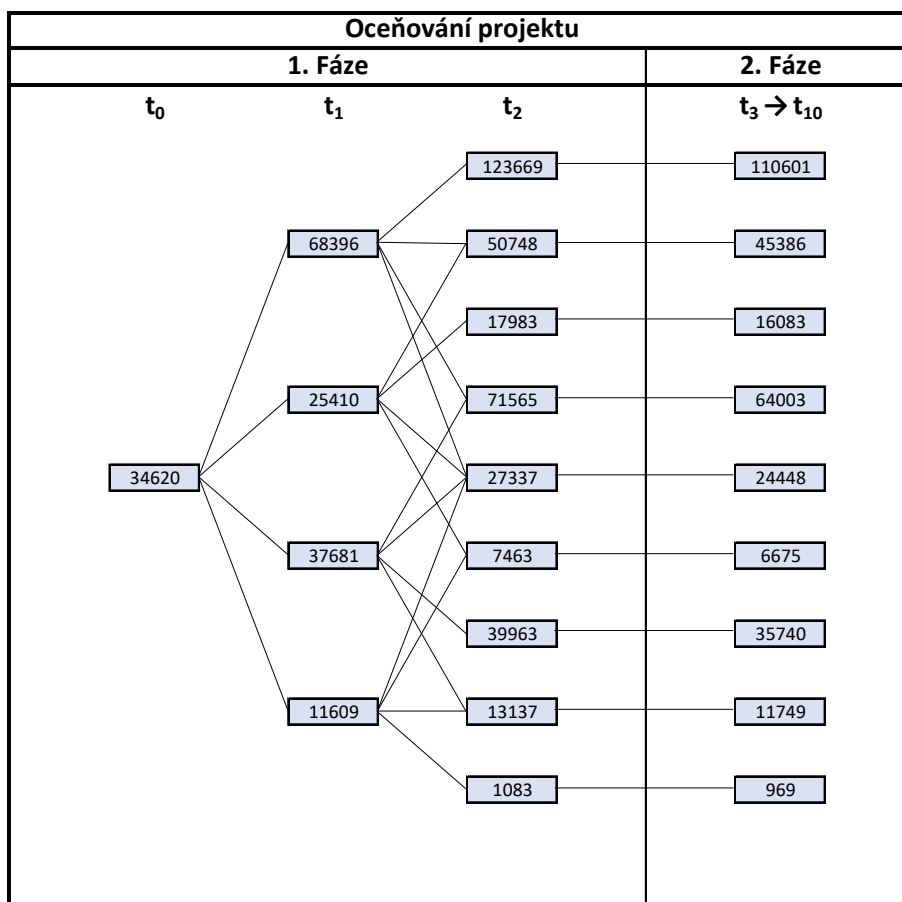
$$V_2^i = \frac{V_3}{(1+R_f)} + FCF_2. \quad (4.9)$$

Výpočet hodnoty projektu v čase t_1 pro jednotlivé uzly je založen na využití rizikově neutrálních pravděpodobností, které jsou předmětem výpočtu kapitoly 4.2. Stanovení hodnoty projektu je prováděno pomocí upraveného vzorce (2.27), který má tvar

$$V_1^i = (V_2^{uu} \cdot p^{uu} + V_2^{ud} \cdot p^{ud} + V_2^{du} \cdot p^{du} + V_2^{dd} \cdot p^{dd}) \cdot (1 + R_f)^{-dt}. \quad (2.10)$$

Pro V_0 a tedy výslednou hodnotu projektu je využito stejného vzorce jako pro V_1 . Pro projekt bez flexibility budou výsledky ocenění pro jednotlivé scénáře značeny jako V_t^{wi} .

Obr. 4.2 Ocenění projektu bez flexibility, bez korelace náhodných proměnných Q a



Zdroj: vlastní zpracování

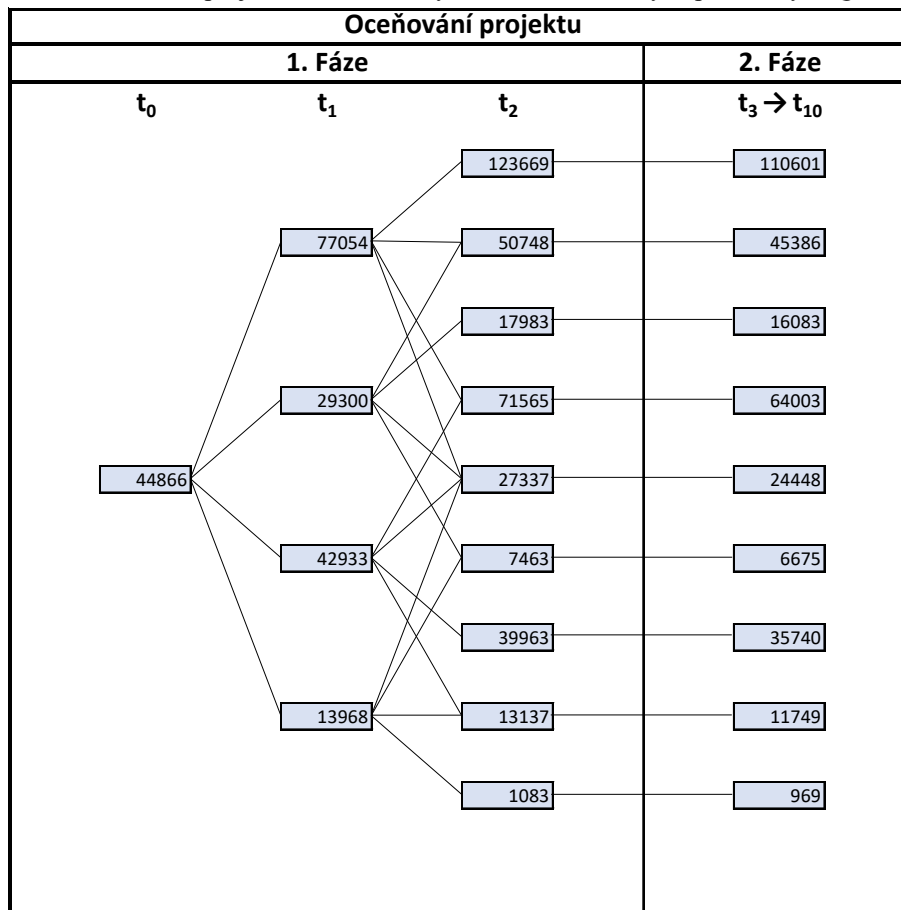
Výsledné hodnoty pro variantu bez korelace jsou obsaženy v Obr. 4.2. Současná hodnota projektu je pro projekt bez flexibility 34 620 Kč. Po odečtení celkové počáteční investice ve výši 30 000 Kč, vychází NPV projektu na 4620 tis. Kč. Z toho důvodu lze projekt doporučit k realizaci.

Varianta s korelací

Výpočet a výsledky FCF pro variantu s korelací je totožný jako u varianty bez korelace. Proces oceňování pro variantu s korelací je podobný jako pro variantu bez korelace. Jediným rozdílem jsou hodnoty rizikově neutrálních pravděpodobností, které jsou uplatněny ve vzorci

(2.10). Výsledky výpočtů pro jednotlivé uzly jsou obsaženy v Obr. 4.3. V případě varianty s korelací je současná hodnota projektu 44 866 Kč. Z toho vyplývá, že NPV projektu pro tuto variantu je 14 866 tis. Kč. Na základě kladného NPV lze doporučit projekt uskutečnit.

Obr. 4.3 Ocenění projektu bez flexibility, s korelací náhodných proměnných Q a P



Zdroj: vlastní zpracování

4.4 Ocenění projektu a flexibility s opcí na opuštění projektu

V tomto kroku je přidána opce na opuštění projektu. Jedná se o opci na odprodej projektu za předem stanovenou cenu, kterou může společnost využít, pokud dojde k nepříznivému vývoji FCF . Opci lze uplatnit pouze v první fázi projektu. Společnost vlastní tedy bermudskou prodejní opci na odprodej projektu. Opce je v tomto případě uplatněna, pokud budoucí toky z projektu budou nižší než prodejní cena projektu. Opce by tedy měla být uplatněna ve scénářích, které se nachází ve spodní části kvadronomického stromu. V tomto případě je cena, za kterou společnost může projekt odprodat stanovena na 25 000 tis. Kč.

Varianta bez korelace

Předmětem prvního výpočtu je vytvoření kvadronomického stromu s hodnotou projektu po přidání opce. V každém uzlu je obsažena rozhodovací funkce na základě, které je

rozhodnuto, zda je větší hodnota projektu bez flexibility nebo prodejní cena projektu. Výsledkem je vyšší hodnota z těchto dvou. Hodnotu jednotlivých uzlů lze vyjádřit takto,

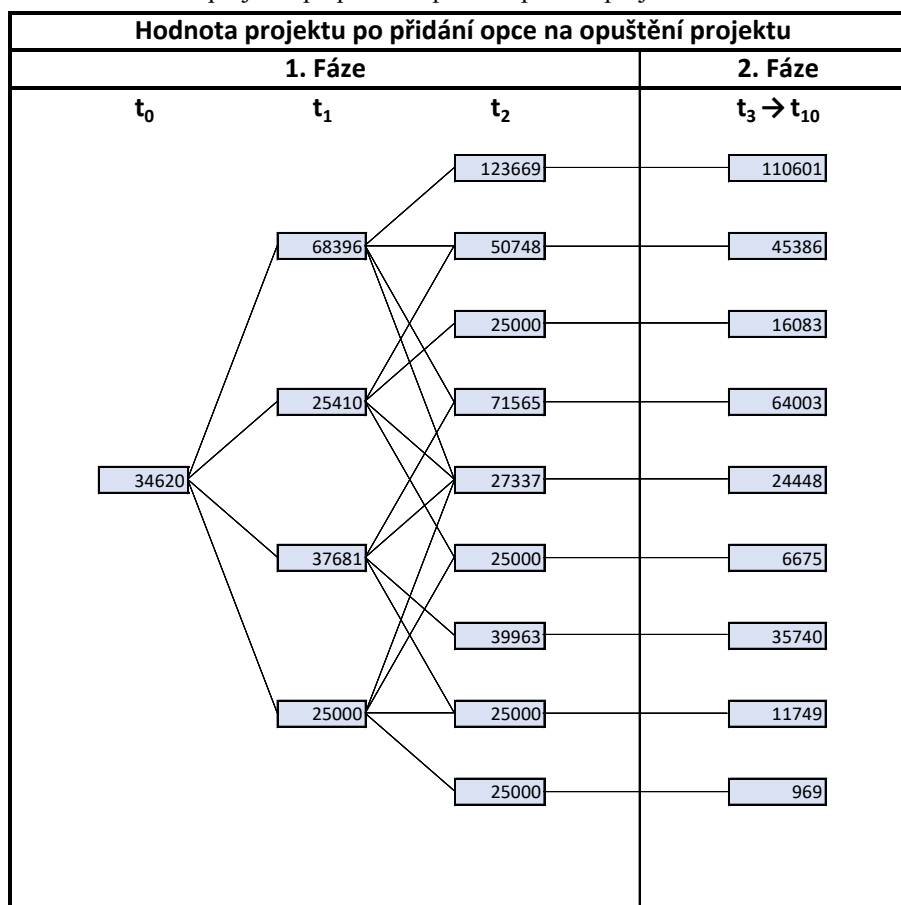
$$V_t^{GAi} = \text{MAX}(A_t; V_t^{wi}), \quad (4.11)$$

kde V_t^{GAi} je hodnota projektu po přidání opce v čase t , A_t je prodejní cena projektu v čase t a V_t^{wi} je hodnota projektu bez flexibility v čase t . Rozhodovací funkce je charakterizována jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{opce bude uplatněna, pokud } A_t > V_t^{wi}, \\ \text{opce nebude uplatněna, pokud } A_t < V_t^{wi}. \end{cases} \quad (4.12)$$

Na základě této rozhodovací funkce dochází tedy v každém scénáři k rozhodnutí, zda je větší hodnota po přidání opce nebo hodnota projektu bez flexibility. Tímto rozhodnutím lze určit, zda je výhodnější opci v daném scénáři uplatnit, bez ohledu na ostatní scénáře. Pro druhou fázi neuvažujeme s uplatněním opce, proto jsou tyto hodnoty pouze převzaty z ocenění projektu bez flexibility.

Obr. 4.4 Hodnota projektu po přidání opce na opuštění projektu



Zdroj: vlastní zpracování

Jak je patrné z Obr. 4.5, na základě přidání opce do hodnoty projektu bez flexibility je v některých scénářích prodejní cena větší. Hlavně je to patrné ve spodní větvi binomického

stromu. Pro rozhodnutí, zda opci uplatnit nebo ne, je nezbytné zjistit hodnotu projektu pomocí oceňování, ve kterém je postupováno opět od konce. Oceňování projektu s opcí je dáno vztahem

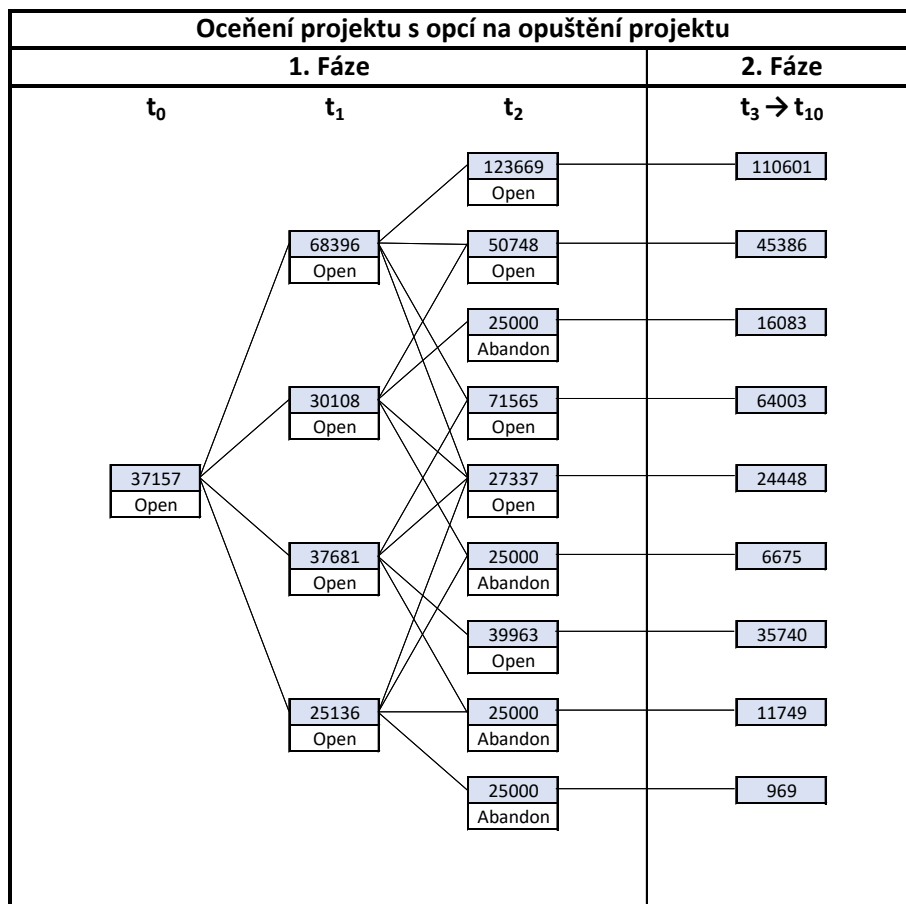
$$V_t^{Ai} = \text{MAX}(V_t^{\text{GAi}}, V_t^i), \quad (4.13)$$

kde V_t^{Ai} je výsledná hodnota ocenění projektu s opcí na opuštění projektu v čase t , V_t^{GAi} je vysvětlena ve vzorci (4.11) a V_t^i je hodnota ocenění dána vzorci (4.8), (4.9), (4.10), v čase t . Rozhodovací funkce je charakterizována jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{výsledkem je } V_t^{\text{GAi}}, & \text{pokud } V_t^{\text{GAi}} > V_t^i, \\ \text{výsledkem je } V_t^i, & \text{pokud } V_t^{\text{GAi}} < V_t^i. \end{cases} \quad (4.14)$$

Výslednou hodnotou tedy je hodnota projektu po přidání opce nebo ocenění projektu. Ta větší z těchto dvou hodnot je uplatněna. Pokud byla opce uplatněna ve scénáři u hodnoty projektu po přidání opce a je současně větší než hodnota ocenění, pak je opce pro daný scénář uplatněna. V ostatních případech na základě ocenění opce uplatněna není. Výsledky jsou shrnuty v Obr. 4.6.

Obr. 4.5 Výsledky ocenění projektu s opcí na opuštění projektu



Zdroj: vlastní zpracování

Pod každým uzlem v 1. fázi se nachází logická funkce vyjadřující, zda je opce uplatněna nebo ne. Pokud dojde v daném scénáři k uplatnění opce, výsledkem logické funkce je status Abandon. V případě ponechání opce otevřené bude výsledkem status Open.

Z Obr. 4.5 lze pozorovat uplatnění opce u některých uzlů. Zajímavých výsledků je dosaženo ve spodní části kvadronomického stromu. V Obr. 4.4 je patrné že pokud by záleželo pouze na porovnání hodnoty projektu bez flexibility s prodejní cenou projektu, bude výhodnější opci uplatnit. Naopak na základě výsledku ocenění pro tento uzel je patrné, že je lepší opci neuplatnit. Po odečtení investičních nákladů projektu od hodnoty ocenění v čase t_0 , je hodnota NPV 7 157 tis. Kč.

Varianta s korelací

Pro variantu s korelací je výpočet podobný, rozdílem je využití hodnoty projektu bez flexibility za korelace a opětovné využití rizikově neutrálních pravděpodobností pro projekt s korelací. Výsledky tohoto výpočtu jsou předmětem Obr. 4.6.

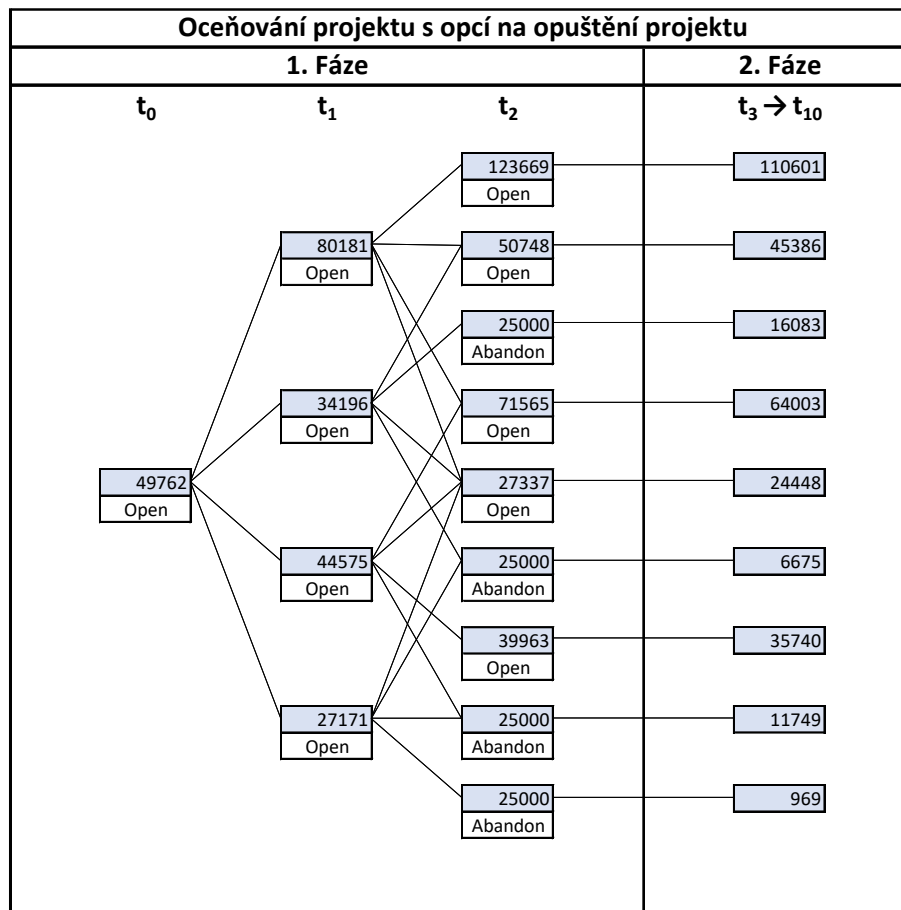
Obr. 4.6 Hodnota projektu po přidání opce na opuštění projektu s korelací

Hodnota projektu po přidání opce na opuštění projektu				
1. Fáze			2. Fáze	
t_0	t_1	t_2	$t_3 \rightarrow t_{10}$	
48288	80181	123669	110601	
		50748	45386	
	30350	25000	16083	
		71565	64003	
	44575	27337	24448	
		25000	6675	
	25000	39963	35740	
		25000	11749	
		25000	969	

Zdroj: vlastní zpracování

Pro tuto variantu na základě rozhodovací funkce jsou opce uplatněny také především ve spodní části kvadronomického stromu. Výsledky pro ocenění jsou obsaženy v Obr. 4.7. NPV projektu s korelací je 19 762 tis. Kč. Projekt je tedy vhodné uskutečnit.

Obr. 4.7 Výsledky ocenění projektu s opcí na opuštění projektu pro variantu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

4.5 Ocenění projektu a flexibility s opcí na rozšíření projektu

Opce na rozšíření projektu poskytuje společnosti možnost projekt rozšířit v případě příznivého vývoje. Jedná se o bermudskou kupní opci na nákup dodatečných výrobních faktorů. Opce lze využít pouze během 1. fáze projektu. Rozšíření projektu přinese nárůst hodnoty projektu o 30 %, ale je spojeno s dodatečnou investicí ve výši 8 000 tis. Kč. Lze předpokládat, že opce bude uplatněna v horní části kvadronomického stromu.

Varianta bez korelace

Stejně jako u minulé opce, je prvním krokem stanovení hodnoty projektu po přidání opce. Pro další postup je nezbytné určit vliv, který bude mít opce na hodnotu projektu bez flexibility. Tento vliv je vyjádřen jako

$$E_t^i = (V_t^{wi} \cdot (1 + X_e) - I_e), \quad (4.15)$$

kde E_t^i je hodnota projektu při uplatnění opce v čase t , V_t^{wi} je hodnota projektu bez flexibility v čase t , X_e je procentuální nárůst hodnoty projektu s opcí na rozšíření, I_e jsou dodatečné investiční výdaje spojené s rozšířením projektu. Výpočet pro jednotlivé uzly kvadronomického stromu je formulován jako

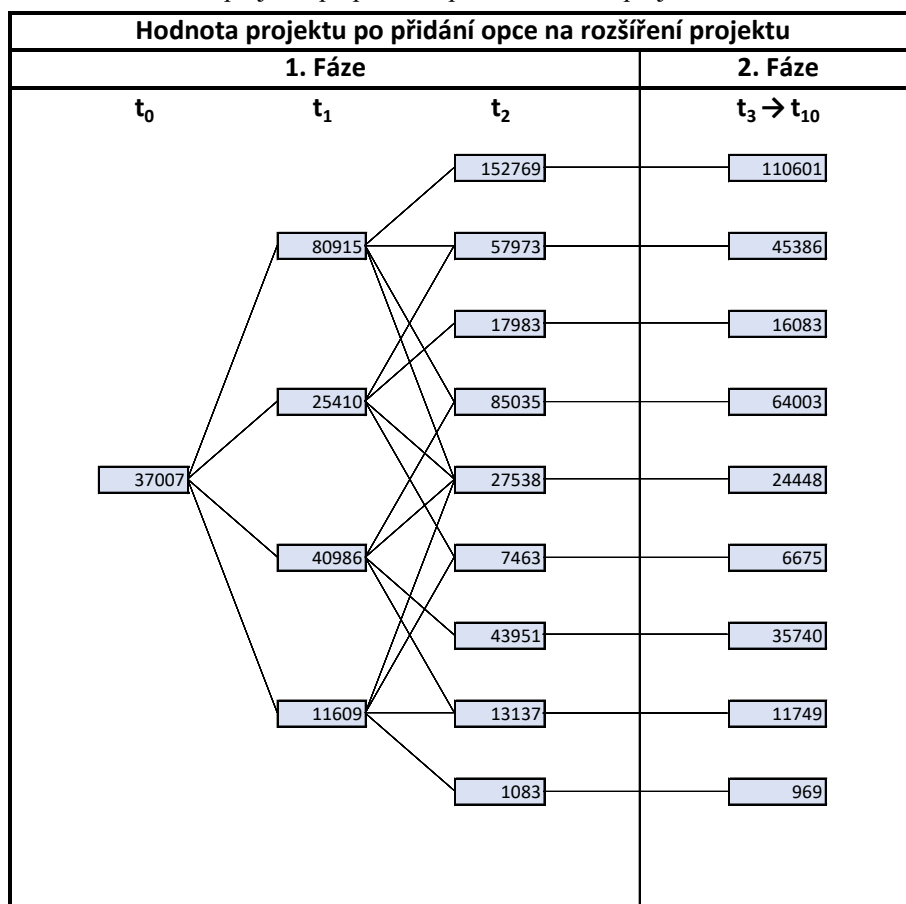
$$V_t^{GEi} = \text{MAX}(E_t^i; V_t^{wi}), \quad (4.16)$$

kde V_t^{GEi} je hodnota projektu po přidání opce na rozšíření v čase t , V_t^{wi} je hodnota projektu bez flexibility v čase t . Rozhodovací funkce je vyjádřena jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{opce bude uplatněna, pokud } E_t^i > V_t^{wi}, \\ \text{opce nebude uplatněna, pokud } E_t^i < V_t^{wi}. \end{cases} \quad (4.17)$$

Pokud bude hodnota projektu bez flexibility menší než hodnota projektu po přidání opce, lze v patřičném uzlu opci uplatnit.

Obr. 4.8 Hodnota projektu po přidání opce na rozšíření projektu



Zdroj: vlastní zpracování

Hodnoty ve 2. fázi jsou opět pouze převzaty z ocenění projektu bez flexibility. Výsledky jsou znázorněny v Obr. 4.8. V případě tohoto rozhodovacího stromu není patrné, ve kterých uzlech může být opce uplatněna. Zda byla nebo nebyla opce uplatněna je patrné u ocenění. Oceňování projektu je podobné jako u předchozí opce, s rozdílem rizikově neutrálních pravděpodobností. Pro výpočet jednotlivých uzlů je využito vztahu,

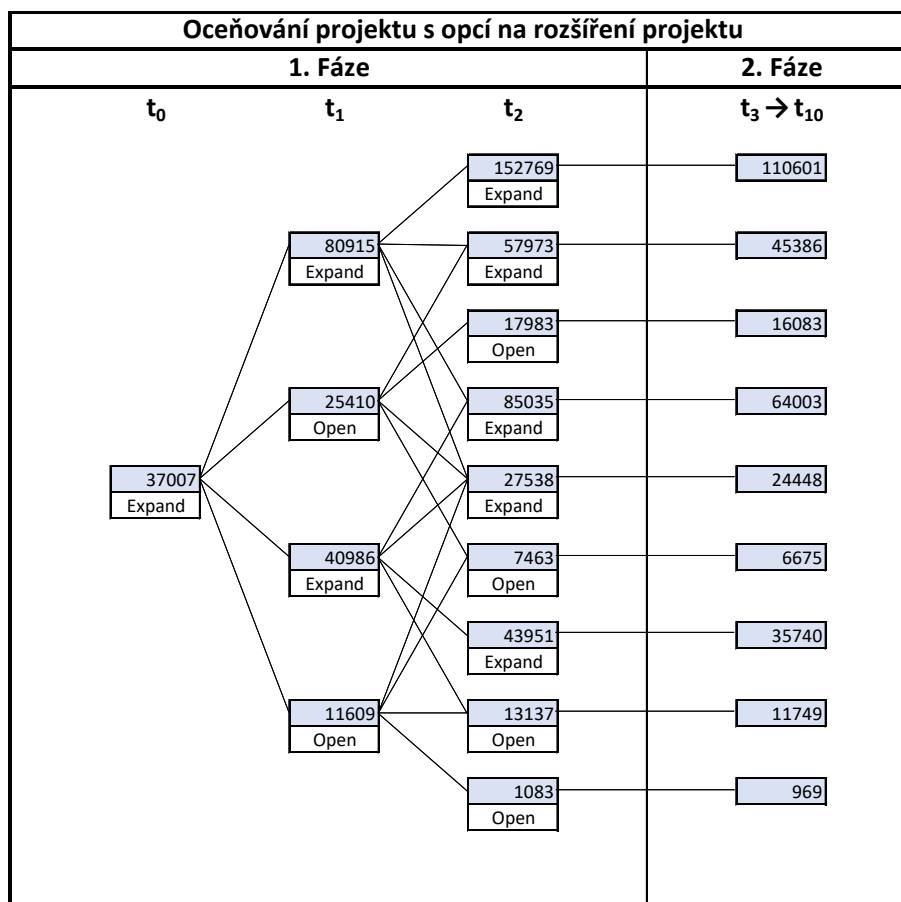
$$V_t^{Ei} = \text{MAX}(V_t^{GEi}; V_t^i), \quad (4.18)$$

kde V_t^{Ei} je výsledná hodnota ocenění projektu s opcí na rozšíření projektu v čase t . Rozhodovací funkce je formulována jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{výsledkem je } V_t^{GEi}, & \text{pokud } V_t^{GEi} > V_t^i, \\ \text{výsledkem je } V_t^i, & \text{pokud } V_t^{GEi} < V_t^i. \end{cases} \quad (4.19)$$

Výsledky ocenění jsou předmětem Obr. 4.9. Oproti opci na opuštění projektu lze pozorovat větší množství případů, kde je opce uplatněna. Pod každým uzlem je opět status využití opce. Status Expand označuje případ, kdy je opce využita. Status Open vyjadřuje případ, kdy je opce ponechána otevřená.

Obr. 4.9 Výsledky ocenění projektu s opcí na rozšíření projektu

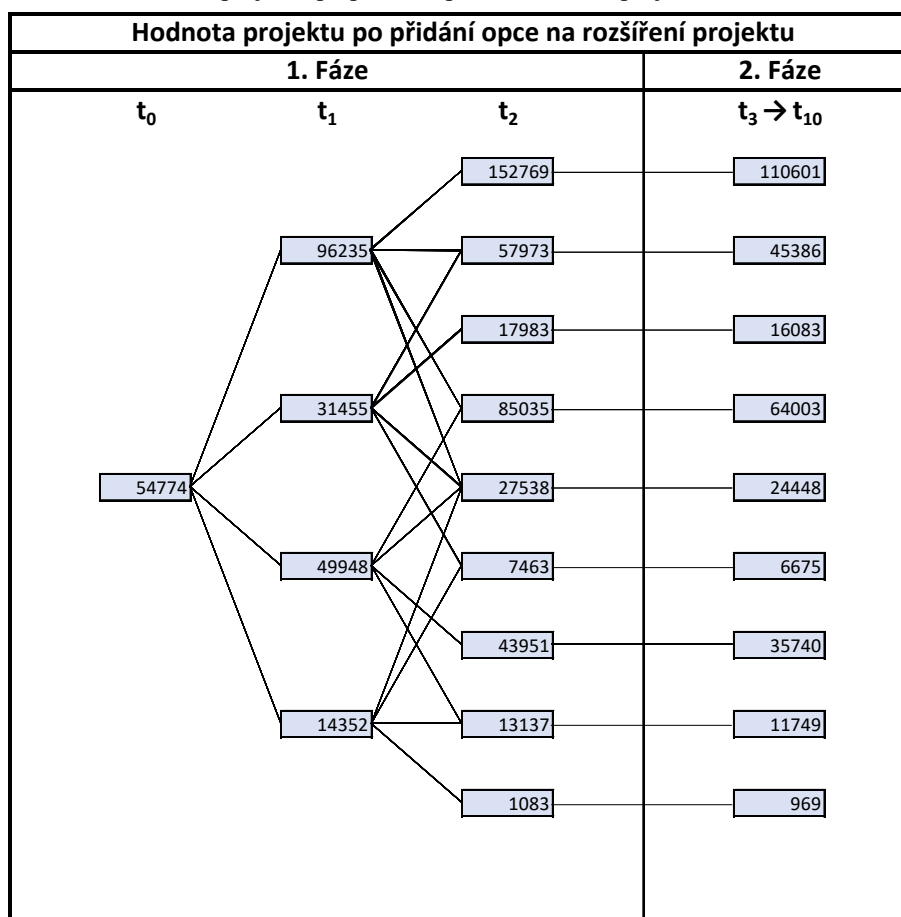


Z výsledků je možné určit že pro společnost by bylo nejvýhodnější opci na rozšíření projektu využít hned na počátku projektu. Čistá současná hodnota projektu je zde opět získána odečtením prvotní investice od hodnoty ocenění v čase t_0 . Hodnota NPV je tedy 7 007 tis. Kč.

Varianta s korelací

Pro variantu s korelací je nutné nejdříve vypočítat hodnotu projektu po přidání opce a následně ocenit tento projekt po přidání opce. V případě varianty s korelací je hodnota často vyšší než ve variantě bez korelace. Čím vyšší hodnota projektu bez flexibility, tím větší přínos této opce pro společnost může mít. Z toho důvodu lze předpokládat, že pro tuto variantu bude opce uplatněna ve více uzlech.

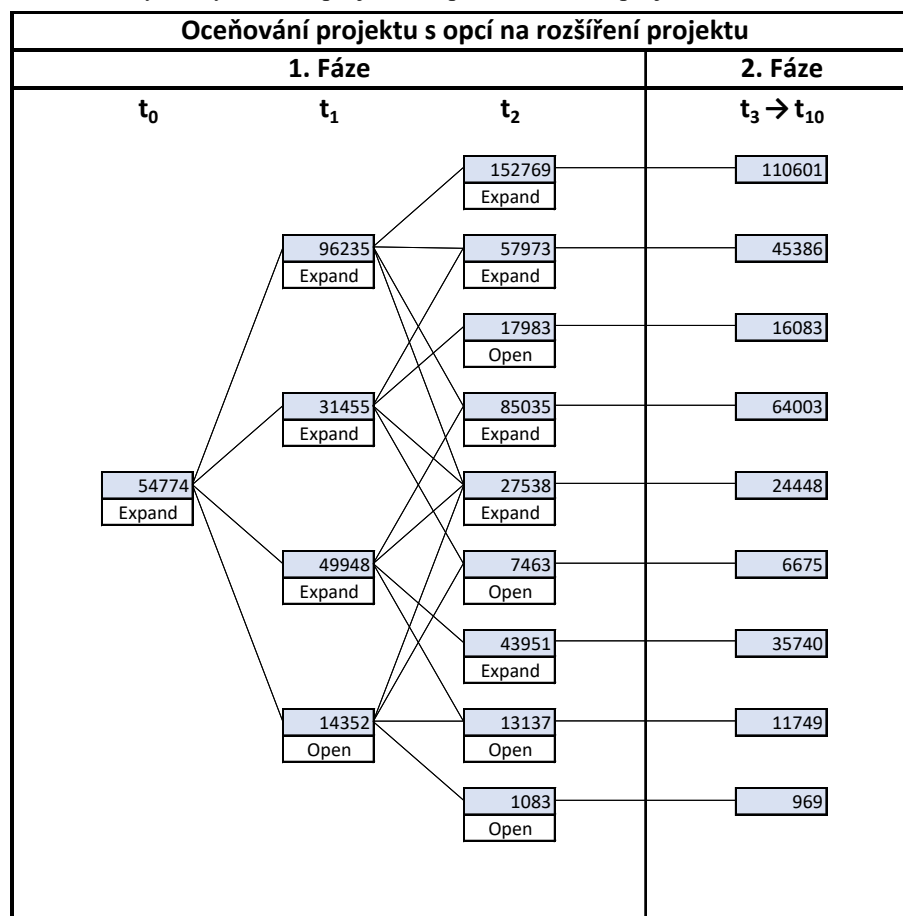
Obr. 4.10 Hodnota projektu po přidání opce na rozšíření projektu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

Z Obr. 4.11. je patrné, že předpoklad uplatnění opcí ve více uzlech byl správný. Na základě výsledků lze usuzovat, že nejvýhodnější je pro společnost uplatnit opci také na začátku projektu v čase t_0 . Po odečtení prvotních investičních nákladů je hodnota NPV ve výši 24 774 tis. Kč.

Obr. 4.11 Výsledky ocenění projektu s opcí na rozšíření projektu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

4.6 Ocenění projektu a flexibility s opcí na zúžení projektu

Opce na zúžení poskytuje společnosti možnost odprodat část výrobních kapacit za předem stanovenou cenu. Jedná se o bermudskou prodejní opci na prodej výrobních faktorů projektu. Uplatněním této opce získá společnost část investovaných prostředků, ale současně dojde k procentnímu snížení hodnoty projektu. V případě tohoto projektu je prodejní cena části výrobní kapacit ve výši 15 000 tis. Kč. Míra snížení hodnoty projektu je 30 %.

Varianta bez korelace

Prvním krokem je nezbytné určit hodnotu projektu bez flexibility po přidání opce na zúžení. Výpočet je formulován jako

$$C_t^i = (V_t^{\text{wi}} \cdot (1 - X_c) + R_c), \quad (4.20)$$

kde C_t^i je hodnota projektu při uplatnění opce v čase t , V_t^{wi} je hodnota projektu bez flexibility v čase t , X_c je míra snížení hodnoty projektu a R_c označuje desinvestiční příjem. Pro jednotlivé uzly hodnoty projektu bez flexibility po přidání opce na zúžení platí,

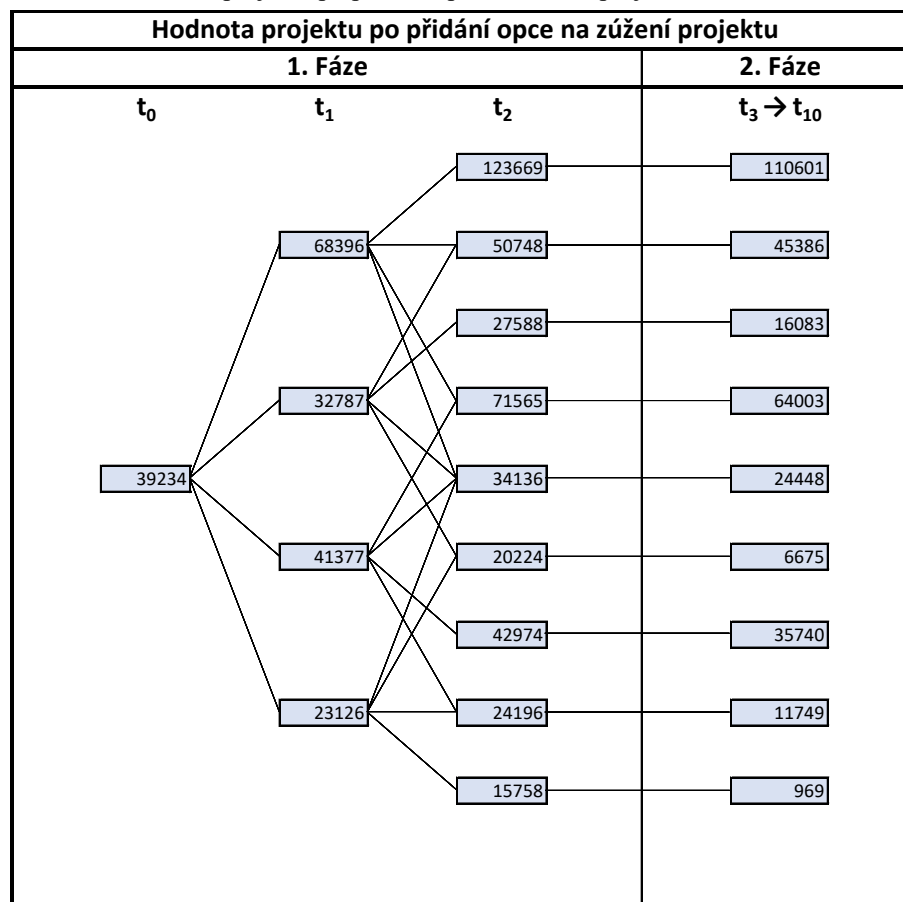
$$V_t^{Gci} = \text{MAX}(C_t^i; V_t^{\text{wi}}), \quad (4.21)$$

kde V_t^{Gci} je hodnota projektu po přidání opce na zúžení v čase t . Rozhodovací funkce je dána vztahem,

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{opce bude uplatněna, pokud } C_t^i > V_t^{\text{wi}}, \\ \text{opce nebude uplatněna, pokud } C_t^i < V_t^{\text{wi}}. \end{cases} \quad (4.22)$$

Výsledkem rozhodovací funkce bude v tomto případě hodnota původního projektu navýšená opcí, nebo hodnota původního projektu bez flexibility. Hodnota projektu bez flexibility po přidání opce je znázorněna v Obr. 4.12. Oproti opcí na opuštění projektu opět není z rozhodovacího stromu patrné, zda je opce využita či nikoliv. Hodnoty pro 2. fázi jsou získány stejným postupem jako v případě výše popsanych opcí.

Obr. 4.12 Hodnota projektu po přidání opce na zúžení projektu



Zdroj: vlastní zpracování

Opět zde není patrné, zda byla opce uplatněna nebo nikoliv. Na tuto otázku je zodpovězeno pomocí oceňování. Oceňování probíhá opět obdobným způsobem jako u minulých opcích. Pro oceňování platí vztah,

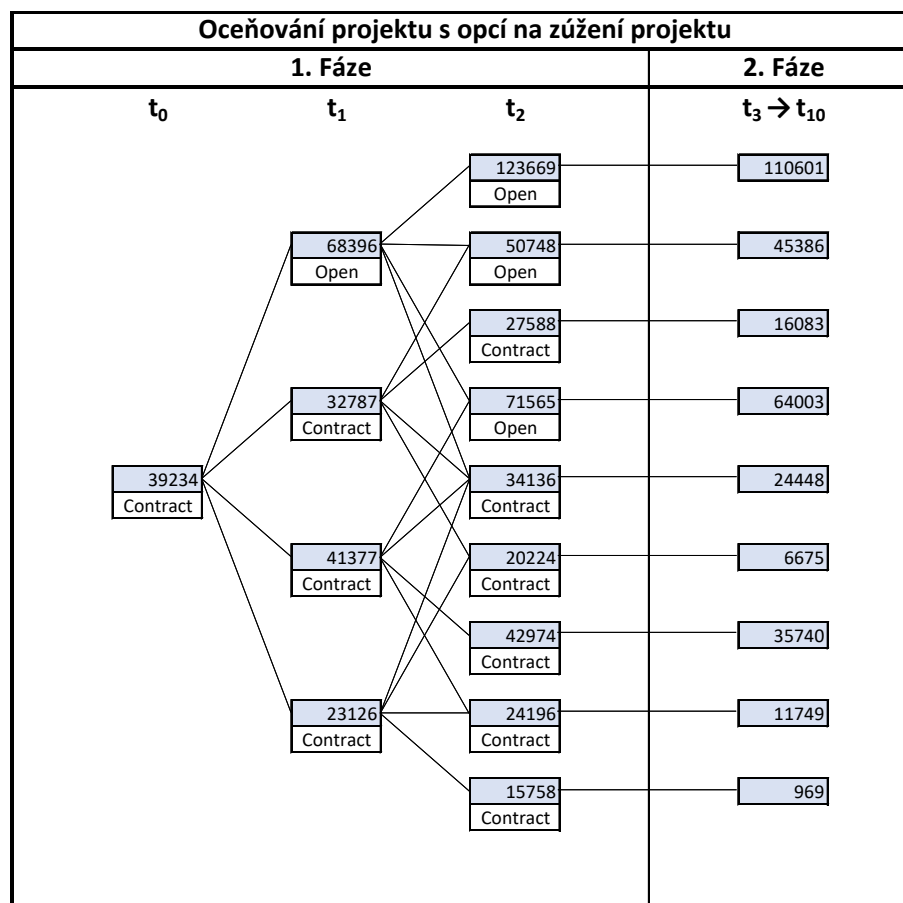
$$V_t^{Ci} = \text{MAX}(V_t^{GC}; V_t^i), \quad (4.23)$$

kde V_t^{Ci} je výsledná hodnota ocenění projektu s opcí na rozšíření projektu v čase t . Rozhodovací funkce je formulována jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{výsledkem je } V_t^{GCi}, \text{ pokud } V_t^{GCi} > V_t^i, \\ \text{výsledkem je } V_t^i, \text{ pokud } V_t^{GCi} < V_t^i. \end{cases} \quad (4.24)$$

Výsledky ocenění pro tuto opcí jsou znázorněny v Obr. 4.13. Stejně jako u předchozích opcí je pod každým uzlem při oceňování logická funkce. V případě že je opce v daném scénáři uplatněna, status logické funkce je Contract.

Obr. 4.13 Výsledky ocenění projektu s opcí na zúžení projektu



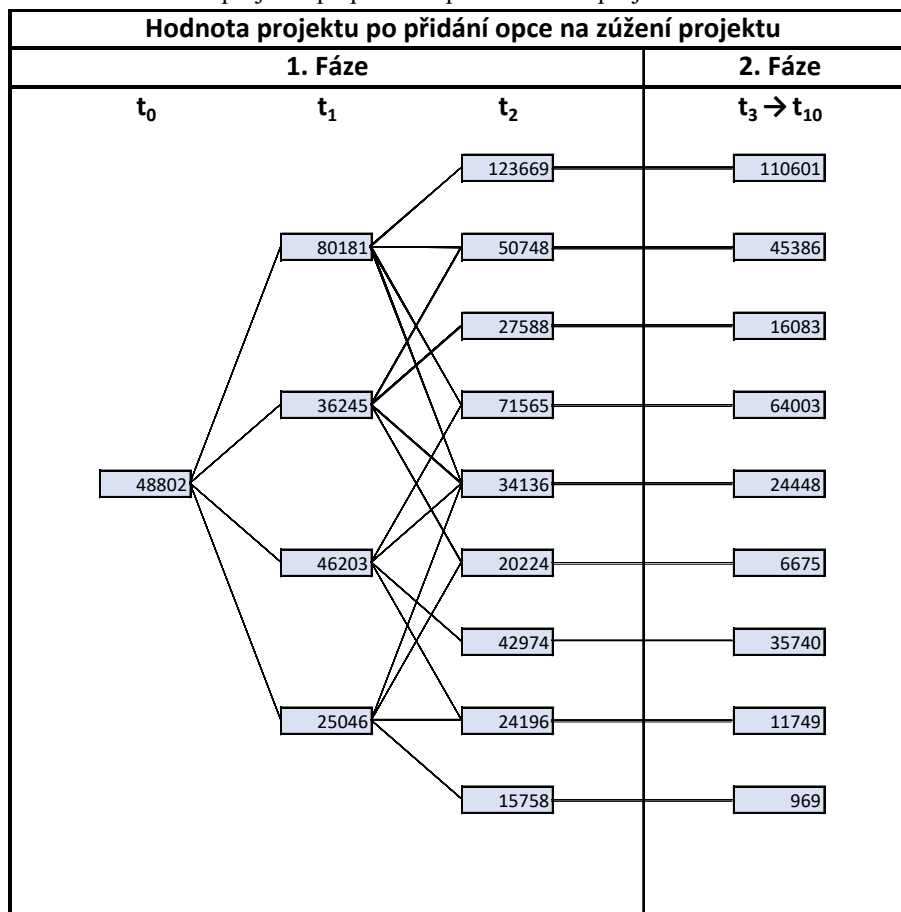
Zdroj: vlastní zpracování

Pokud je opce ponechána otevřená, status logické funkce je Open. Z výsledků oceňování je patrné, že opce je uplatňována ve větším počtu uzlů než u opce na opuštění projektu. Dle výsledků by pro společnost bylo nejlepší opci uplatnit na začátku projektu v čase t_0 . Hodnota NPV pro projekt s opcí na zúžení a bez korelace náhodných proměnných, je ve výši 9 234 tis. Kč. Projekt tedy lze doporučit k realizaci.

Varianta s korelací

Pro variantu s korelací je postup obdobný jako u předchozích opcí. Nejdříve je vypočítána hodnota projektu po přidání opce a dále se pokračuje oceněním. Opce je společností uplatněna opět především v případech méně příznivého vývoje. Výsledky hodnot projektu po přidání opce jsou obsahem Obr. 4.14.

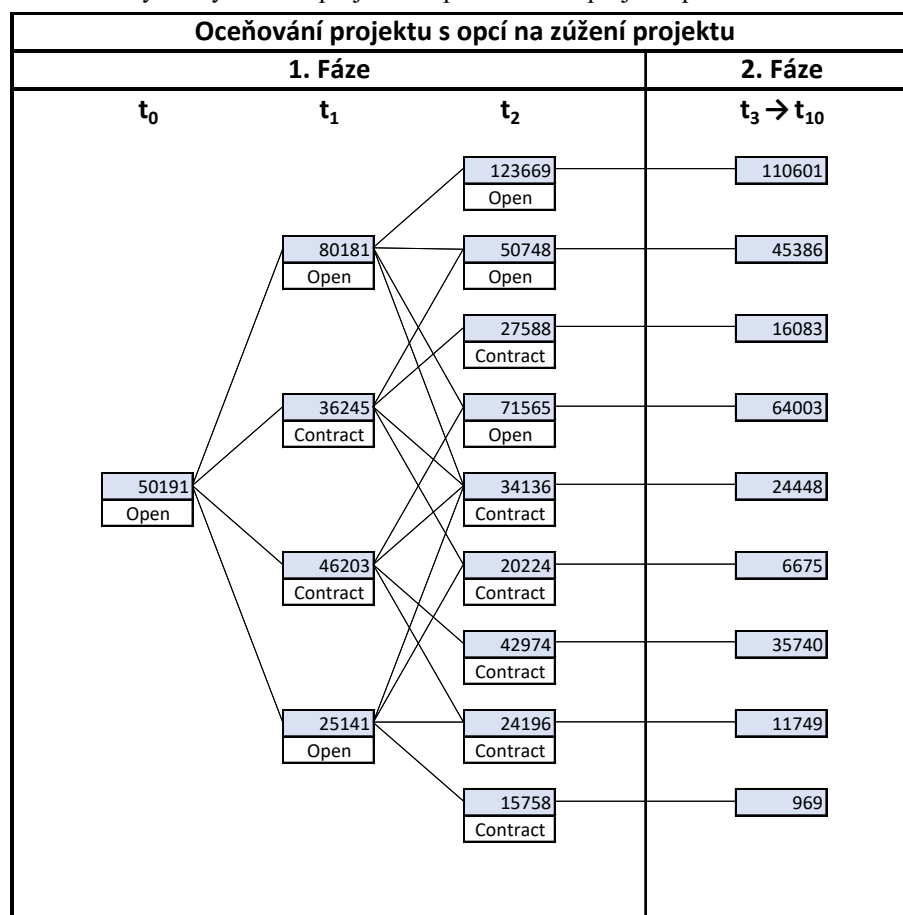
Obr. 4.14 Hodnota projektu po přidání opce na zúžení projektu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

Na základě hodnot projektu po přidání opce je vytvořeno ocenění projektu v jednotlivých scénářích vývoje projektu. Koncové hodnoty projektu po přidání opce jsou převzaty bez změn. Ocenování probíhá opět od konce. Výsledky tohoto ocenění jsou obsahem Obr. 4.15. Pod každým uzlem se nachází stejná logická funkce jako ve variantě bez korelace. Z výsledků je patrné, že je opce uplatněna v čase t_1 ve 3. scénářích. Po odečtení prvotních investičních výdajů je hodnota NPV ve výši 20 191 tis. Kč. Projekt je výhodné uskutečnit.

Obr. 4.15 Výsledky ocenění projektu s opcí na zúžení projektu pro variantu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

4.7 Ocenění projektu a flexibility s portfoliem opcí,

Pro potřebu předchozích výpočtů bylo uvažováno pokaždé pouze s jednou opcí. Pro následující výpočty uvažujeme existenci všech použitých opcí současně. Parametry opcí z jednotlivých kapitol jsou zachovány. Společnost tedy vlastní opci na opuštění, rozšíření a zúžení projektu. Tato opce s největší přidanou hodnotou je uplatněna.

Varianta bez korelace

V tomto případě je nejprve nutné stanovit hodnotu projektu bez flexibility po přidání opce. Výpočet je vyjádřen vztahem,

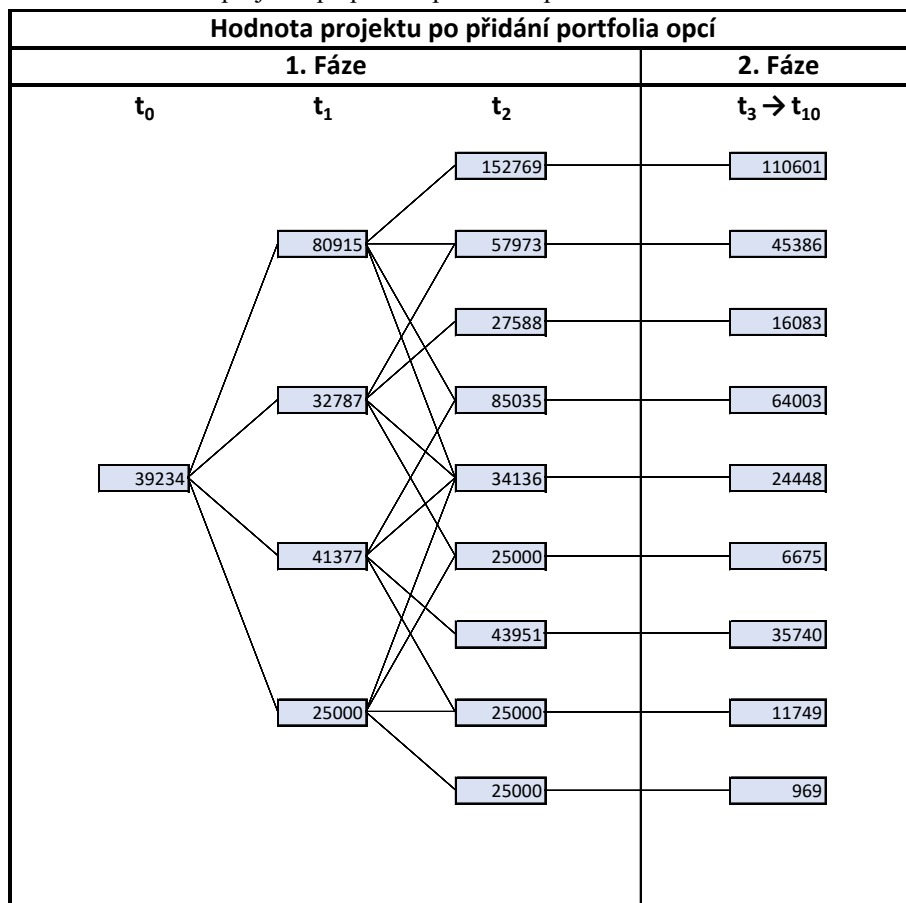
$$V_t^{GAECi} = \text{MAX}(A_t; E_t; C_t; V_t^{\text{wi}}), \quad (4.25)$$

kde V_t^{GAECi} je hodnota projektu po přidání opcí na zúžení v čase t . Rozhodovací funkce je vyjádřena jako

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{bude uplatněna opce na opuštění, pokud } A_t > V_t^{wi}; E_t^i; C_t^i, \\ \text{bude uplatněna opce na zúžení, pokud } C_t^i > V_t^{wi}; A_t; E_t^i, \\ \text{bude uplatněna opce na rozšíření, pokud } E_t^i > V_t^{wi}; C_t^i; A_t, \\ \text{nebude uplatněna žádná opce, pokud } V_t^{wi} > A_t; E_t^i; C_t^i. \end{cases} \quad (4.26)$$

Pokud je hodnota projektu po přidání opce větší než hodnota projektu bez flexibility, lze tuto opci uplatnit. Současně platí, že opce, která přinese vyšší nárůst hodnoty bude upřednostněna. Hodnoty 2. fáze opět nejsou předmětem rozhodování a jsou převzaty z Obr. 4.2.

Obr. 4.16 Hodnota projektu po přidání portfolia opcí



Zdroj: vlastní zpracování

Ve výsledcích na Obr 4.16 lze pozorovat, že v některých scénářích jsou opce uplatněny. Patrné je to především pro opci na opuštění projektu. Oceňování bude prováděno obdobným způsobem jako v předchozích podkapitolách. Ocenění projektu je dáno vztahem,

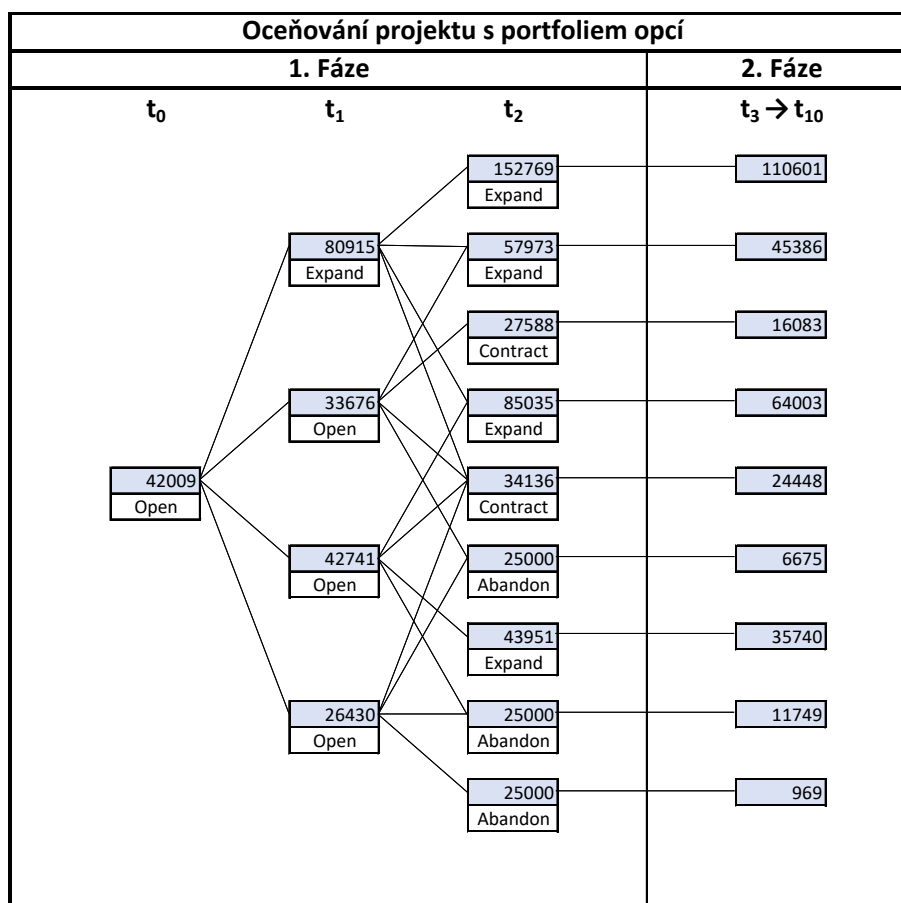
$$V_t^{AECi} = \text{MAX}(V_t^{GAECi}; V_t^i), \quad (4.27)$$

kde V_t^{AECi} je výsledná hodnota ocenění projektu s opcemi v čase t . Hodnota rozhodovací funkce je formulována jako,

$$\Omega_t = \begin{cases} \text{výsledná hodnota je } V_t^{GAECi}, \text{ pokud } V_t^{GAECi} > V_t^i, \\ \text{výsledná hodnota je } V_t, \text{ pokud } V_t^{GAECi} < V_t^i. \end{cases} \quad (4.28)$$

Pokud byla opce obsažena už v hodnotě projektu po přidání opce a současně platí, že hodnota projektu po přidání opce je větší jak hodnota ocenění dle vzorce (2.10), daná opce je v projektu uplatněna. Na Obr. 4.17 jsou znázorněny hodnoty ocenění pro jednotlivé scénáře.

Obr. 4.17 Výsledky ocenění projektu s portfoliem opcí



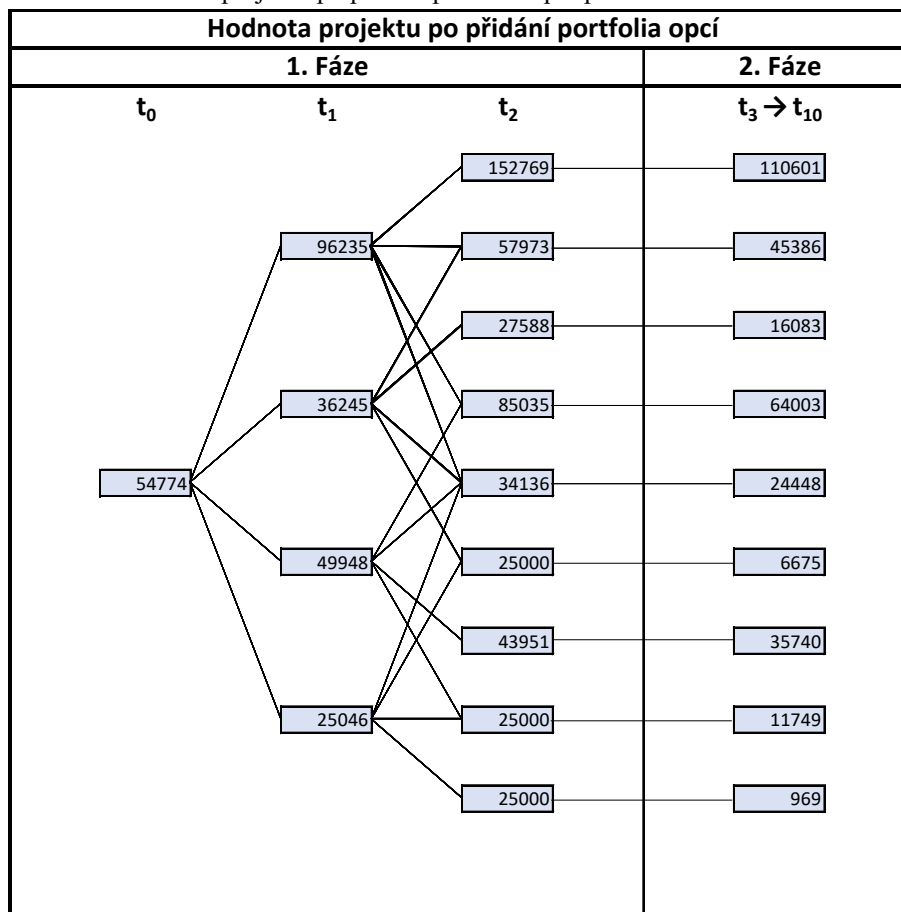
Zdroj: vlastní zpracování

Pod jednotlivými scénáři se nachází logická funkce. Status pro označení jednotlivých opcí jsou v této logické funkci zachovány z předchozích podkapitol. Z výsledků vyplývá, že v čase t_1 je pro společnost výhodné uplatnit opci pouze v jednom případě, a to opci na rozšíření. Pokud by nastal jeden z ostatní scénářů, opce by byla ponechána otevřená. V čase t_2 je v každém scénáři některá z opcí uplatněna. Při srovnání s oceněním v předchozích kapitolách lze pozorovat převážně menší počet uplatněných opcí v čase t_1 . Je to převážně zapříčiněno využitím opcí v čase t_2 . Díky tomu jsou hodnoty ocenění v čase t_1 , vypočítané dle vzorců (4.8), (4.9) a (4.10) vyšší než hodnoty projektu po přidání opce. Hodnota NPV je tedy pro tento projekt 12 009 tis. Kč. Projekt je výhodné uskutečnit.

Varianta s korelací

Ve variantě s korelací je postupováno obdobným způsobem. První částí výpočtu je stanovit hodnoty projektu pro jednotlivé scénáře po přidání opcí. Hodnota projektu po přidání opcí je součástí Obr. 4.18.

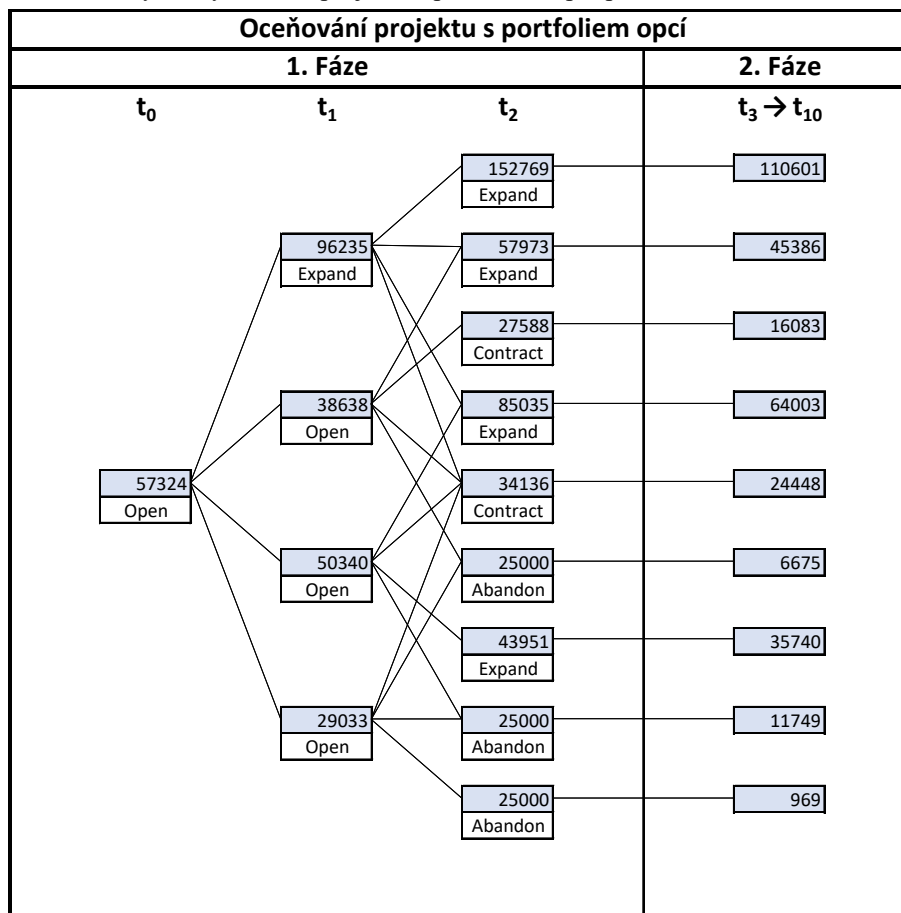
Obr. 4.18 Hodnota projektu po přidání portfolia opcí pro variantu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

Druhou částí výpočtu je ocenění projektu. Koncové hodnoty projektu po přidání opce jsou převzaty do oceňování, které je prováděno od konce. Výsledek ocenění projektu je předmětem Obr. 4.19. V této variantě jsou opce v jednotlivých scénářích uplatněny ve stejné míře, jako ve variantě bez korelace. Po odečtení počátečních investičních nákladů je hodnota NPV ve výši 27 324 tis. Kč. Projekt je dle ocenění pro společnost výnosný a vyplatí se ho provést.

Obr. 4.19 Výsledky ocenění projektu s portfoliem opcí pro variantu s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

4.8 Srovnání hodnot flexibility a grafické znázornění

V této podkapitole je provedeno srovnání vývoje NPV, výpočet flexibility, citlivostní analýzy, a grafické znázornění hodnot. Flexibilita je počítána dle (2.6). NPV je počítána odečtením prvotních investičních výdajů od současných hodnot projektu. Výsledky pro variantu bez korelace jsou předmětem Tab. 4.5.

Tab. 4.5 Shrnutí výsledků ocenění pro variantu bez korelace

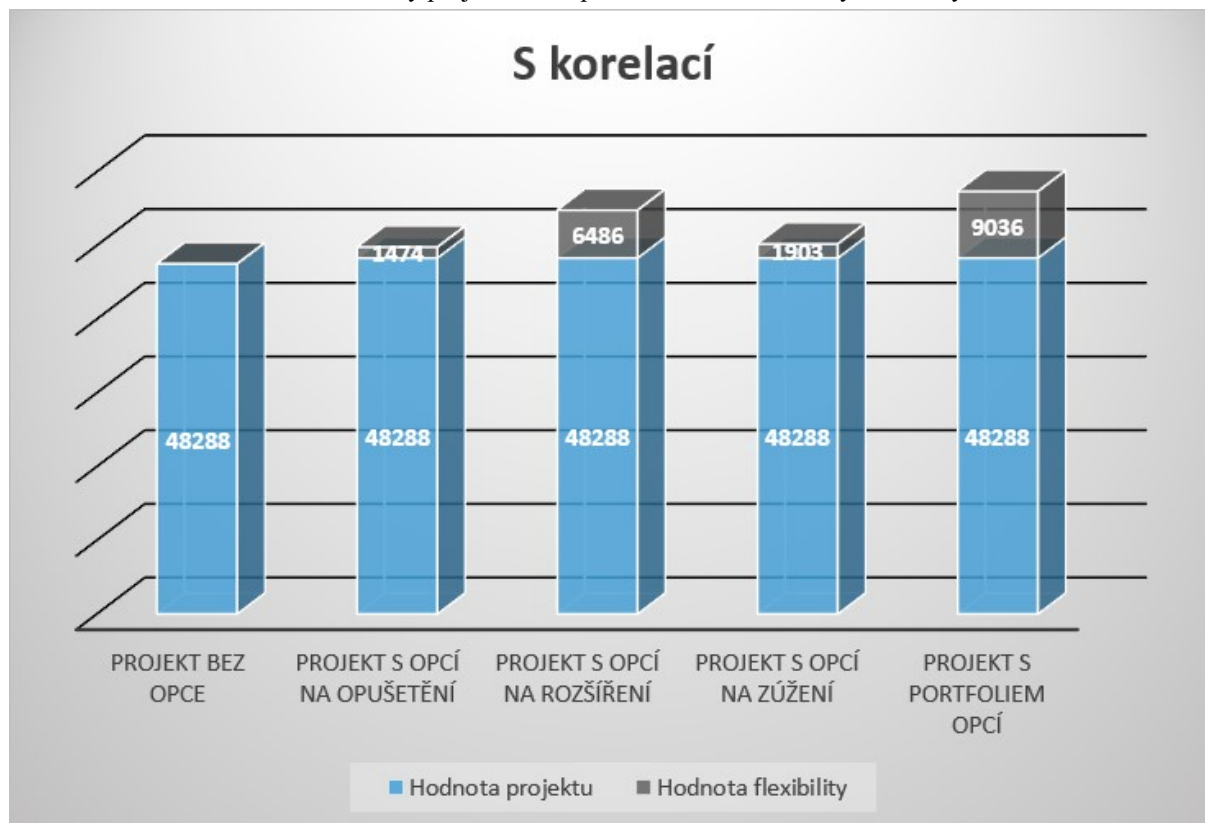
	Hodnota projektu	NPV projektu	Hodnota flexibility
Projekt bez opce	34620	4620	0
Projekt s opcí na opuštění	37157	7157	2536
Projekt s opcí na rozšíření	37007	7007	2386
Projekt s opcí na zúžení	39234	9234	4614
Projekt s portfoliem opcí	42009	12009	7389

Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledků je patrné, že současná hodnota projektu se s každou opcí zvyšuje. Největší nárůst hodnoty je u projektu s portfoliem opcí. Důvodem je, že lze využít všechny opce tak, aby bylo dosaženo co největšího přínosu. V případě srovnání projektů s jednou opcí lze pozorovat, že největší hodnotu má projekt s opcí na zúžení projektu. Hodnoty NPV pro

jednotlivé projekty vyšly kladně. Všechny projekty tedy lze doporučit k realizaci. Největší přínos má projekt s portfoliem opcí. Hodnota flexibility nejlépe vyjadřuje, jaký nárůst hodnoty projektu přidání opce přineslo. Patrné je to především na grafu 4.1.

Graf 4.1 Grafické znázornění hodnoty projektu bez opce a znázornění hodnoty flexibility bez korelace



Zdroj: vlastní zpracování

Pro variantu s korelací existuje mezi náhodnými proměnnými Q a P kladná korelace. Pro tuto variantu lze tedy očekávat vyšší hodnoty než u varianty bez korelace. Výpočet pro variantu s korelací probíhal souběžně s výpočty varianty bez korelace. Shrnutí výsledků je

Tab. 4.6 Shrnutí výsledků ocenění pro variantu s korelací

	Hodnota projektu	NPV projektu	Hodnota flexibility
Projekt bez opce	48288	18288	0
Projekt s opcí na opuštění	49762	19762	1474
Projekt s opcí na rozšíření	54774	24774	6486
Projekt s opcí na zúžení	50191	20191	1903
Projekt s portfoliem opcí	57324	27324	9036

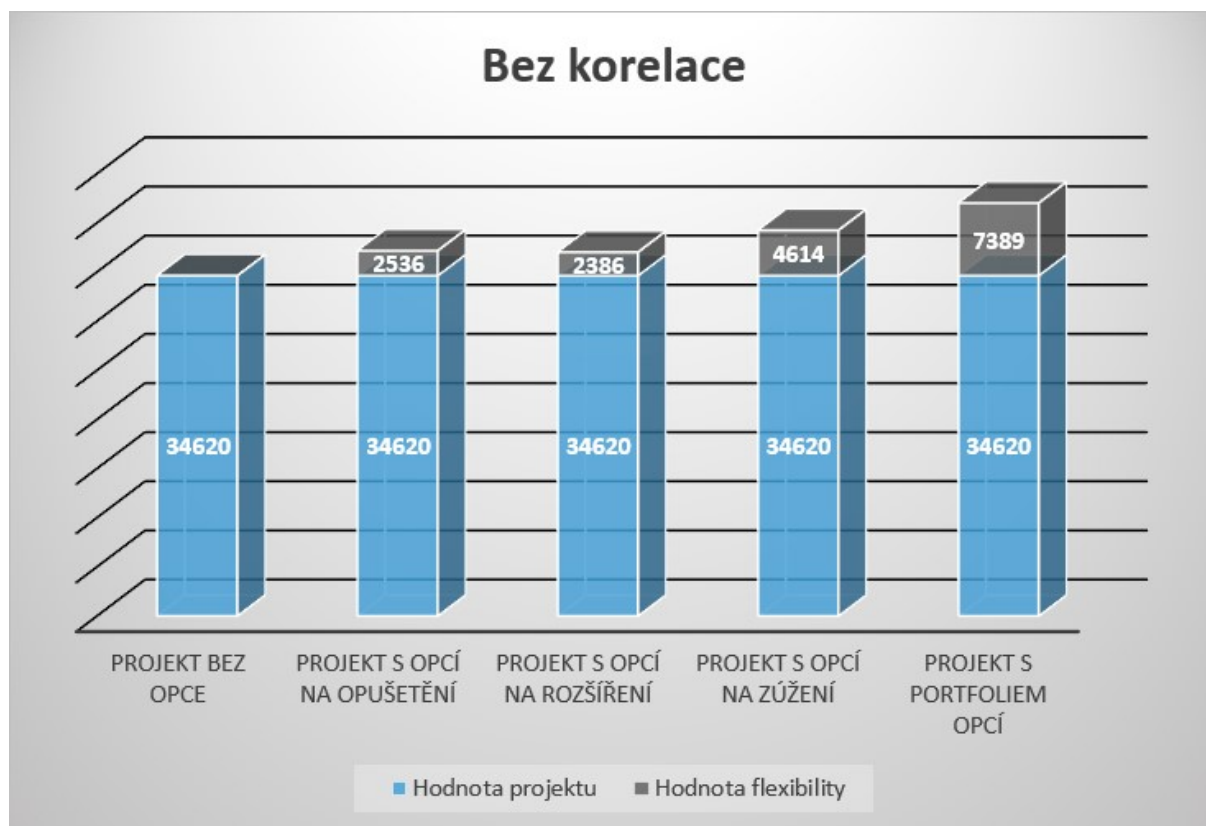
Zdroj: vlastní zpracování

předmětem Tab. 4.6.

Současná hodnota projektu se opět zvyšuje po přidání opce. Největší je samozřejmě hodnota projektu s portfoliem opcí. Pokud jsou srovnány projekty pouze s jednou opcí, je patrné že největší přínos mělo přidání opce na rozšíření projektu. NPV všech projektů vychází kladně,

proto lze všechny projekty doporučit k provedení. Hodnotu flexibility lze nejlépe pozorovat v grafu 4.2.

Graf 4.2 Grafické znázornění hodnoty projektu bez opce a znázornění hodnoty flexibility s korelací



Zdroj: vlastní zpracování

4.9 Citlivostní analýza

Výsledky ocenění pro tuto variantu jsou výrazně ovlivněny hodnotou koeficientu korelace. Z toho důvodu je provedena citlivostní analýza. V této citlivostní analýze je sledována flexibilita samostatných opcí a portfolia opcí na změnu korelace. Výsledky citlivostní analýzy jsou obsaženy v Tab. 4.7.

Tab. 4.7 Citlivost flexibility projektu na změnu koeficientu korelace

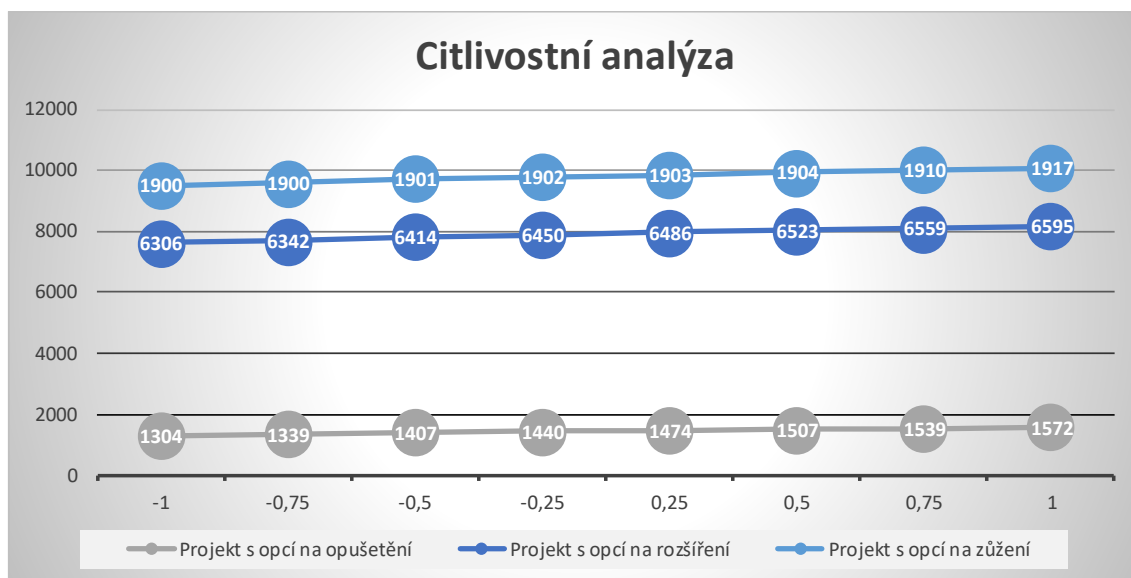
	Hodnota korelace ρ							
	-1	-0,75	-0,5	-0,25	0,25	0,5	0,75	1
Projekt bez opce	0	0	0	0	0	0	0	0
Projekt s opcí na opuštění	1304	1339	1407	1440	1474	1507	1539	1572
Projekt s opcí na rozšíření	6306	6342	6414	6450	6486	6523	6559	6595
Projekt s opcí na zúžení	1900	1900	1901	1902	1903	1904	1910	1917
Projekt s portfoliem opcí	8624	8707	8872	8954	9036	9118	9199	9281

Zdroj: vlastní zpracování

Z Tab. 4.7 je patrné, že s růstem koeficientu korelace rostou i hodnoty flexibility. Při růstu korelace se zvyšuje volatilita peněžních toků, které projekt generuje. Se zvyšováním rizika budoucího vývoje tedy rostou scénáře, kde jsou opce uplatněny a roste tedy hodnota flexibility.

Při zvyšování korelace náhodných proměnných dochází k největšímu růstu u projektu s portfoliem opcí. Hodnota flexibility u projektu s portfoliem opcí musí být nižší nebo rovna součtu flexibilit pro projekty s jednou opcí. Toto pravidlo lze dle Tab. 4.7. potvrdit. Opce jsou v takovém případě uplatněny, aby bylo dosaženo co největšího růstu hodnoty. Nejmenšího nárůstu hodnoty flexibility bylo při změně korelace dosaženo u projektu s opcí na zúžení. Výsledky citlivostní analýzy jsou souhrnně pro projekty s jednou opcí znázorněny na grafu 4.3.

Graf 4.3 Závislost hodnoty flexibility projektů s jednou opcí na hodnotě korelace náhodných proměnných



Zdroj: vlastní zpracování

V grafu se nenachází projekt s portfoliem opcí, protože z důvodu velkého růstu flexibility, byla omezena vypovídací schopnost grafu. Hlavně u projektu s opcí na zúžení projektu by nebyl patrný růst. Všechny projekty jsou jednotlivě i souhrnně součástí přílohy této diplomové práce.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce je ocenění investičního projektu společnosti, aplikací metodologie reálných opcí, pro projekt za existence dvou rizikových faktorů, které projekt ovlivňují.

V druhé kapitole je vymezena teorie finančních opcí a faktory, které cenu těchto opcí ovlivňují. Dále jsou v této kapitole formulovány základní vztahy pro výpočet vnitřní, časové hodnoty opce a výpočet zisku opce. Další část této kapitoly je věnována základní charakteristice reálných opcí a způsobu jejich výpočtu. Součástí této charakteristiky jsou i definice opce na opuštění projektu, opce na rozšíření projektu a opce na zúžení projektu. Pro tyto reálné opce jsou formulovány způsoby výpočtu vnitřní hodnoty opcí a stanovení hodnoty projektu. Následuje část věnována modelu pro ocenění opcí, která je součástí základního rozdělení těchto modelů. Následně jsou formulovány základní předpoklady modelů a postupy pro ocenění opcí pomocí vybraných modelů. Největší důraz je kladen na vymezení binomického modelu, hedgingové, replikační strategie a rozšíření modelu pro ocenění duhové opce.

Ve třetí kapitole jsou vymezeny vstupní parametry, které jsou následně využity ve čtvrté kapitole, která je praktickou částí této diplomové práce.

V praktické části jsou vypočítány koeficienty růstu a poklesu, které budou dále využity při predikci vývoje náhodných proměnných. Následně je predikován vývoj pro jednotlivé náhodné proměnné a výsledky jsou znázorněny pomocí binomických stromů. Dále jsou vypočteny rizikově neutrální pravděpodobnosti, které jsou využity při oceňování projektu. Následně jsou vypočítány *FCF* pro jednotlivé scénáře a na základě těchto výpočtů je sestaven kvadronomický strom vývoje peněžních toků z projektu. V této části byl výpočet rozdělen pro variantu bez korelace a s korelací náhodných proměnných. V další části bylo provedeno ocenění pro projekt s opcí na opuštění projektu, s opcí na rozšíření projektu, s opcí na zúžení projektu. Nakonec je oceněn projekt se všemi opcemi současně. Výsledky hodnot NPV pro jednotlivé varianty vyšly kladně všechny, proto lze konstatovat, že všechny projekty je výnosné uskutečnit. Největší hodnota byla u projektu s portfoliem opcí, ve výši 42 009 tis. Kč pro variantu bez korelace a s korelací byla hodnota projektu s portfoliem opcí 57 324 tis. Kč. Pro variantu bez korelace je hodnota NPV projektu s portfoliem opcí ve výši 12 009 tis. Kč a pro variantu s korelací je hodnota NPV ve výši 27 324 tis. Kč. Následně byl zkoumán vliv změny parametru korelace na hodnotu flexibility pomocí citlivostní analýzy. Z výsledků byl potvrzen předpoklad, že při zvyšování korelace se zvyšuje hodnota flexibility a to z důvodu, že jsou uplatněny opce ve více scénářích predikovaného vývoje.

Hodnota flexibility vyjadřuje přínos, který byl aplikací reálných opcí získán. Pro management společnosti je tedy výhodné metodologii reálných opcí využít, ať už z důvodu navýšení hodnoty projektu při příznivém vývoji, nebo zajištění se proti riziku pro případ kdy se hodnoty náhodných proměnných vyvíjejí nepříznivě.

Seznam použité literatury

- [1] COPELAND, Thomas E. a Vladimír ANTIKAROV. *Real options: a practitioner's guide*. New York: Texere, c2001. ISBN 978-1587990281.
- [2] ČULÍK, Miroslav. Aplikace reálných opcí v investičním rozhodování firmy. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013. Series on advanced economic issues, v. 19 (2013). ISBN 978-80-248-3069-8.
- [3] DLUHOŠOVÁ, Dana. Finanční řízení a rozhodování podniku: analýza, investování, oceňování, riziko, flexibilita. 3. upr. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-68-2.
- [4] KODUKULA, Prasad a Chandra PAPUDESU. *Project valuation using real options: a practitioner's guide*. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, c2006. ISBN 1-932159-43-6.
- [5] LEGRAND, Jason B. a Louis T. VERHEYEN, ed. *Real options analysis*. New York: Nova Science Publishers, c2012. Business issues, competition and entrepreneurship series. ISBN 978-1-61324-330-5.
- [6] MUN, Johnathan. Real options analysis: tools and techniques for valuing strategic investments and decisions with integrated risk management and advanced quantitative decision analytics. Third edition. Dexter: Thomson-Shore, [2016]. ISBN 978-1-5300-7511-9.
- [7] REUER, Jeffrey J. a Tony W. TONG, ed. *Real options theory*. Oxford: Elsevier JAI, 2007. Advances in strategic management, v. 24. ISBN 978-0-7623-1427-0.
- [8] TICHÝ, Tomáš. *Finanční deriváty: typologie finančních derivátů, podkladové procesy, oceňovací modely*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1180-4.
- [9] TICHÝ, Tomáš. Simulace Monte Carlo ve financích: aplikace při ocenění jednoduchých opcí. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. Series on advanced economic issues. ISBN 978-80-248-2352-2.
- [10] ZMEŠKAL, Zdeněk, Dana DLUHOŠOVÁ a Tomáš TICHÝ. Finanční modely: koncepty, metody, aplikace. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2013. ISBN 978-80-86929-91-0.

Seznam zkratk

A_t	prodejní cena projektu spojená s opuštěním projektu
C_t^i	desinvestiční příjmy spojené s zúžením projektu
d	daň z příjmu právnických osob
d_q	koeficient poklesu objemu výroby
d_p	koeficient poklesu ceny
E_t^i	dodatečné investice spojené s rozšířením projektu
FCF	volné peněžní toky
Kč	korun českých
NPV	čistá současná hodnota
p^u	rizikově neutrální pravděpodobnost růstu
p^d	rizikově neutrální pravděpodobnost poklesu
P	cena
Q	objem výroby
u_q	koeficient růstu objemu výroby
u_p	koeficient růstu ceny
V_t^{Ai}	hodnota projektu s opcí na opuštění projektu
V_t^{AECi}	hodnota projektu s portfoliem opcí
V_t^{Ci}	hodnota projektu s opcí na zúžení projektu
V_t^{Ei}	hodnota projektu s opcí na rozšíření projektu
V_t^{wi}	hodnota projektu bez opce

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 23.4.2019

Ošťádal

Bc. Vít Ošťádal

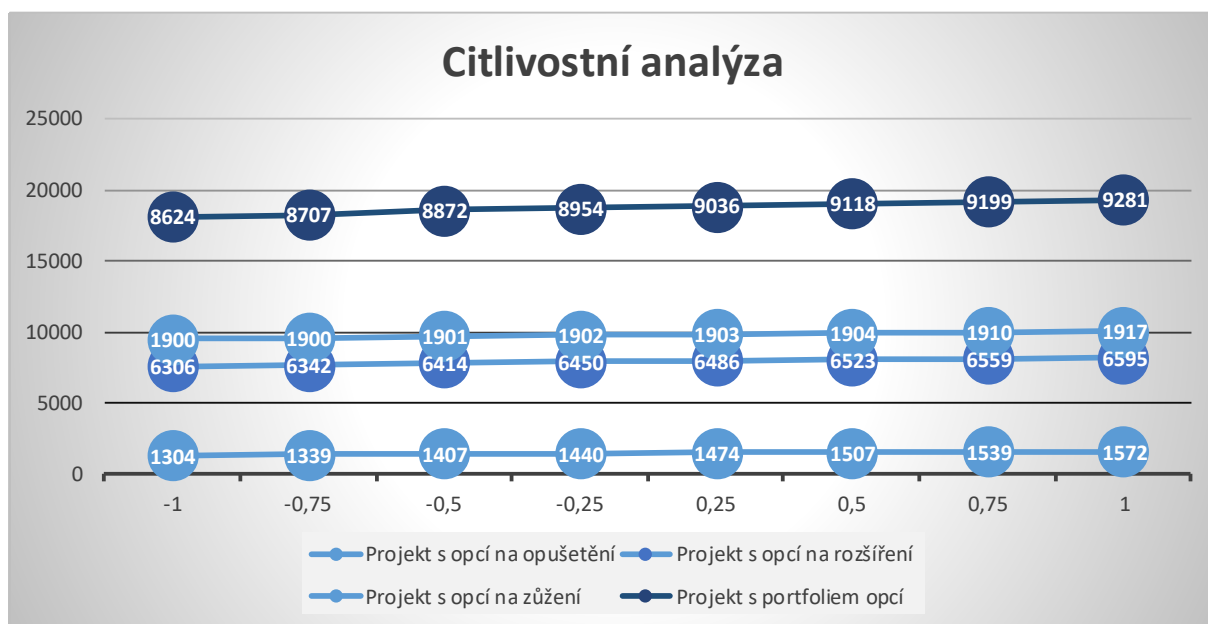
Seznam příloh

Příloha 1: grafické znázornění citlivostní analýzy všech variant projektů současně.

Příloha 2: grafické znázornění citlivostní analýzy všech variant projektů jednotlivě.

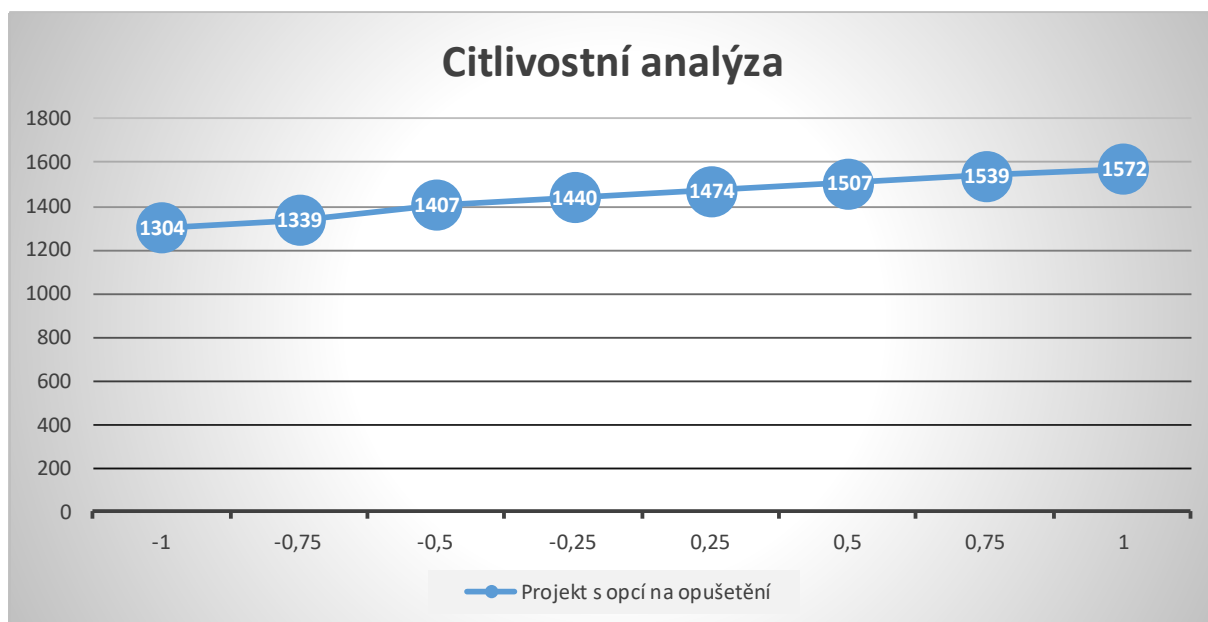
Přílohy

Příloha 1 grafické znázornění citlivostní analýzy všech variant projektů současně

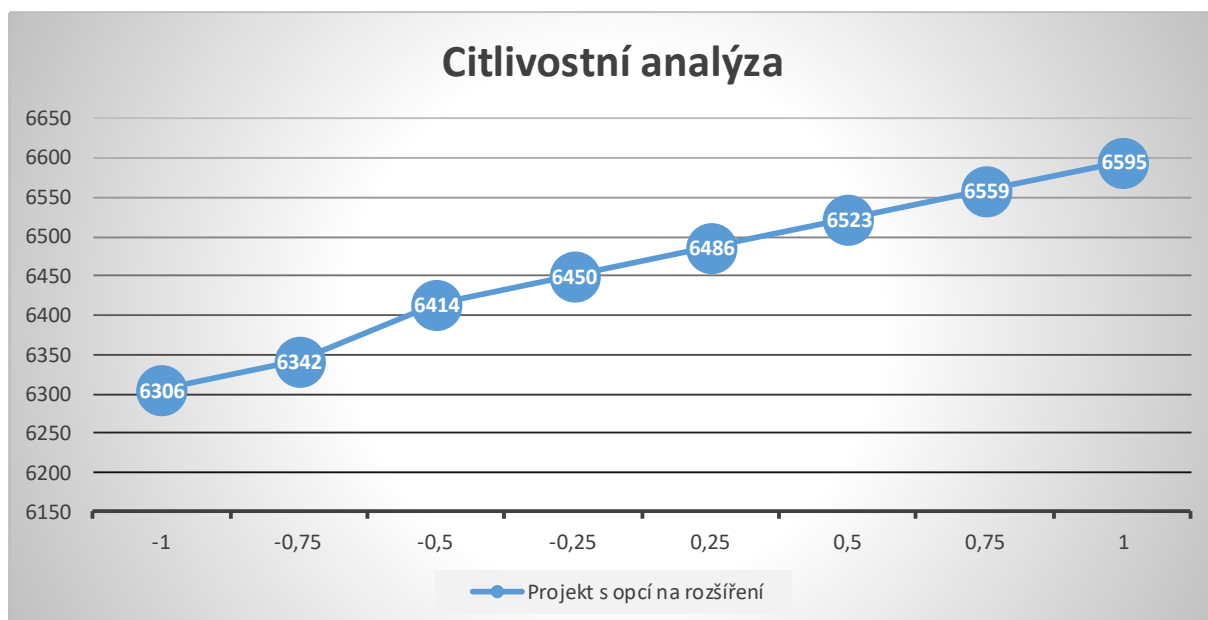


Zdroj: vlastní zpracování

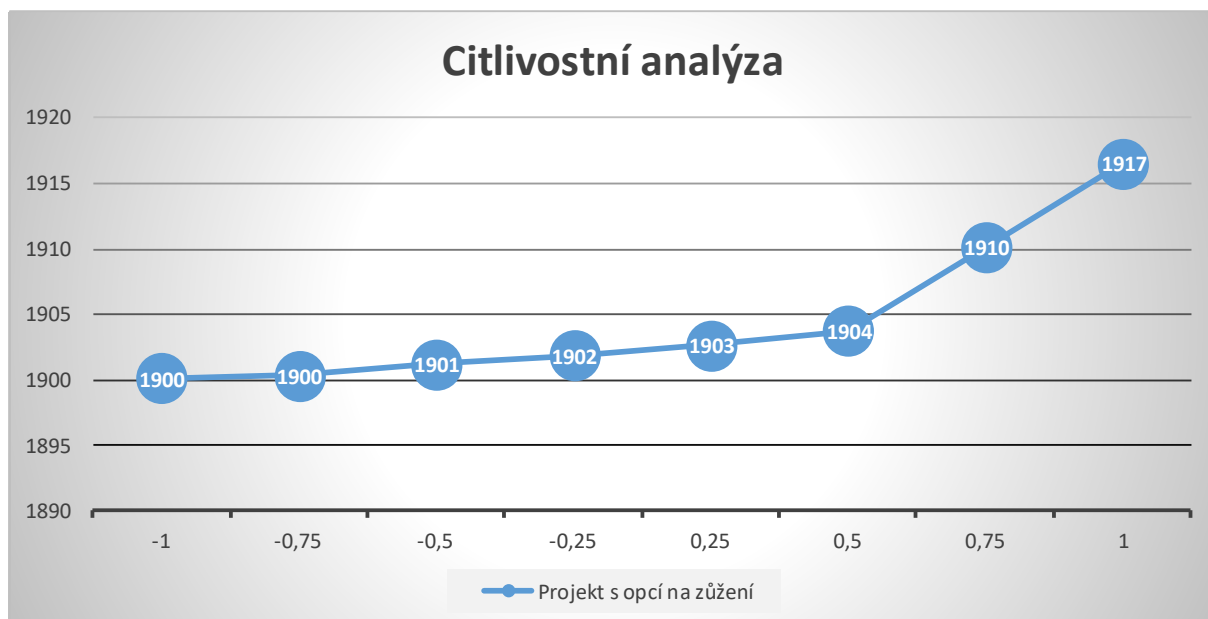
Příloha 2 grafické znázornění citlivostní analýzy všech variant projektů jednotlivě



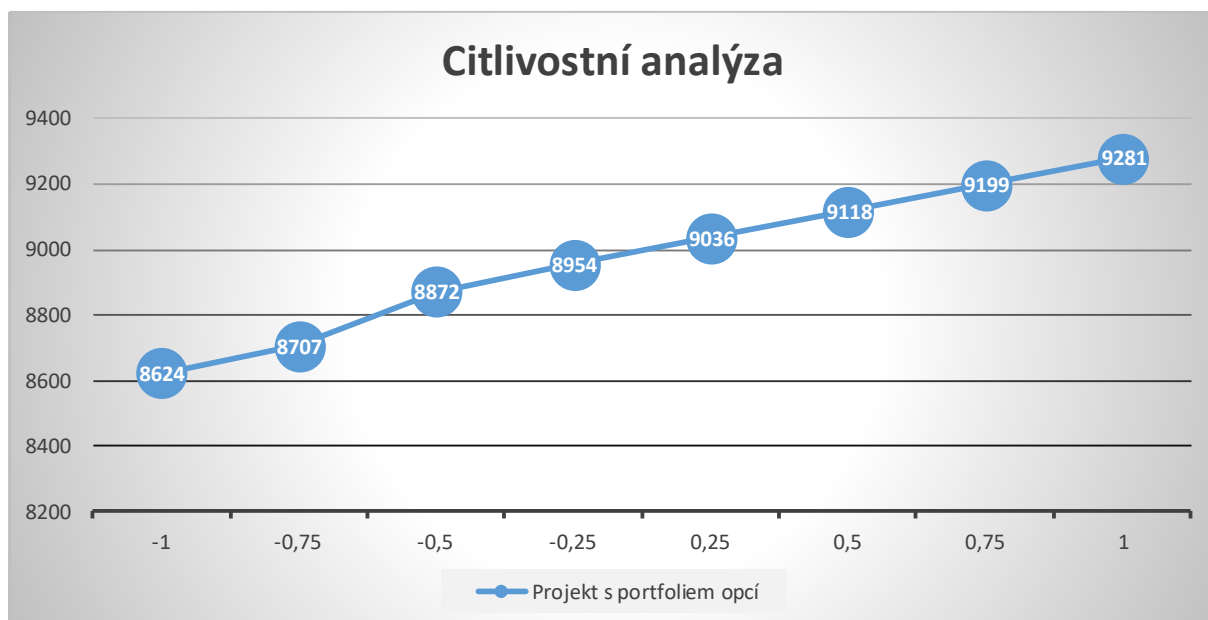
Zdroj: vlastní zpracování



Zdroj: vlastní zpracování



Zdroj: vlastní zpracování



Zdroj: vlastní zpracování